



**22-23 АПРЕЛЯ**  
**2021 г.**  
**СУРГУТ, РОССИЯ**

СБОРНИК СТАТЕЙ II ВСЕРОССИЙСКОЙ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ

**ПРОБЛЕМЫ**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**  
**И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**  
**СЕВЕРА РОССИИ – 2021**



ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ  
Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
Ханты-Мансийского автономного округа – Югры  
«Сургутский государственный университет»

Политехнический институт

Кафедра радиоэлектроники и электроэнергетики

# ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ СЕВЕРА РОССИИ

Сборник статей II Всероссийской  
с международным участием  
научно-практической конференции

(Россия, Сургут, 22–23 апреля 2021 г.)



Москва  
2021

УДК 621.316 (063)

ББК 31.2

П78

**П78 Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России [Электронный ресурс] : сборник статей II Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. — Москва : Издательство «Знание-М», 2021. — 368 с.**

ISBN 978-5-00187-067-8

DOI 10.38006/00187-067-8.2021.1.370

Содержит статьи на русском языке по широкому кругу вопросов в области электроэнергетики, электротехники, электроники, телекоммуникаций, инфокоммуникаций и связи и смежных им.

Адресовано специалистам-практикам, научным сотрудникам, аспирантам и докторантам.

**УДК 621.316 (063)**

**ББК 31.2**

*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.*

ISBN 978-5-00187-067-8

© Авторы, 2021  
© Издательство «Знание-М», 2021

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

- Оствальд Р. В.** Проректор по науке и технологиям БУ ВО «Сургутский государственный университет», к.х.н. (Сургут);
- Мальгин Г. В.** Проректор по образовательной деятельности ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет», к.т.н. (Нижевартовск);
- Сысоев С. М.** Директор Политехнического института БУ ВО «Сургутский государственный университет», к.ф.-м.н. (Сургут);
- Рыжак В. В.** Заведующий кафедрой Радиоэлектроники и электроэнергетики БУ ВО «Сургутский государственный университет», к.ф.-м.н. (Сургут);
- Сальников В. Г.** Профессор кафедры Радиоэлектроники и электроэнергетики БУ ВО «Сургутский государственный университет», д.т.н. (Сургут);
- Умурзакова А. Д.** Заведующая кафедрой Энергетики, металлургии и информационных технологий, «Инновационный Евразийский университет», к.т.н. (Казахстан, г. Павлодар);
- Кислов А. П.** Декан факультета Энергетики и компьютерных наук Павлодарского государственного университета имени С.Торайгырова, к.т.н. (Казахстан, г. Павлодар);
- Мендыбаев С. А.** Доцент кафедры Радиотехники, электроники и телекоммуникаций Казахского аграрно-технического университета имени С.Сейфуллина, к.т.н. (Казахстан, г. Нур-Султан);
- Абишев К. К.** Профессор кафедры Транспортной техники и логистики Павлодарского государственного университета имени С.Торайгырова, к.т.н. (Казахстан, г. Павлодар);
- Кислицин Е. Ю.** Доцент кафедры Радиоэлектроники и электроэнергетики БУ ВО «Сургутский государственный университет», к.т.н. (Сургут);
- Горелов С. В.** Профессор кафедры Электроэнергетических систем и электротехники ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», д.т.н. (Новосибирск);

- Вильбергер М. Е.** Декан факультета Мехатроники и автоматизации ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», к.т.н. (Новосибирск);
- Лукошков Д. С.** Директор Ханты-Мансийского филиала ПАО «Ростелеком» (Ханты-Мансийск);
- Курбатов А. А.** Начальник управления связи ООО «Газпром трансгаз Сургут» (Сургут);
- Уржумцев Д. В.** Инженер отдела информационных технологий Среднеобского ПТУС филиал АО «Связьтранснефть» (Сургут);
- Евдокимов А. А.** Производитель работ треста «Сургутремстрой» ПАО «Сургутнефтегаз», к.т.н. (Сургут).

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

<b>Новикова А.С., Еременко О.В., Шпаков В.А., Волянская Е.В.</b> ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ .....	12
<b>Усков Д. С., Науменко А. А., Вальянов Д. П., Колмаков О.В.</b> СПОСОБ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ .....	19
<b>Кислицин Е.Ю., Кочуров Н.А.</b> ПРИМЕНЕНИЕ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРУЮЩИХ ПРОВОДОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГЛУБИННЫХ СКВАЖИН НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В РАЙОНЕ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА-ЮГРЫ.....	26
<b>Трубицын С.В.</b> ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКЛОУЗЕРОВ .....	32
<b>Гатиятуллин Ю.И.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ЗРУ-6кВ.....	38
<b>Трунов М.Ю.</b> АНАЛИЗ БАЛАНСА АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА.....	44
<b>Мезенцева А.В.</b> СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ПОДАЧИ НАСОСА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СПОСОБОМ.....	50

<b>Стрельникова И.А., Курпита Д.В.</b> АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	56
<b>Ермакова Е.Н.</b> ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ .....	62
<b>Казанчева А.Н.</b> МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УЗЛОВ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ .....	66
<b>Иванов Д.М., Иванова Е.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ СТОХАСТИЧЕСКОМ ХАРАКТЕРЕ НАГРУЗКИ .....	71
<b>Переладов М.Е., Сальников В.Г., Смыков Ю.Н., Иванова Е.В., Денчик Ю.И., Кислицын Е.Ю.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ СУДОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	75
<b>Лаптев Д.С., Чирятьев К.В.</b> СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ .....	83
<b>Чирятьев К.В., Лаптев Д.С.</b> АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6–10 кВ НА НАПРЯЖЕНИЕ 20 кВ .....	90
<b>Алиев Д. С., Хаитов К.Х.</b> ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ В АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	95
<b>Ермакова Е.Н., Евдокимов А.А., Вычужанин А.С.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ БИО-ТЭС.....	101
<b>Иванов М.Н., Косенко Р.Б.</b> БАЛАНСИРОВКА РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ВЕНТИЛЯТОРА ВОЗДУХА КАРУСЕЛЬНОЙ ПЕЧИ.....	106
<b>Неизвестных М.А., Иванова Е.В.</b> МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА РОЗНИЧНОМ РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ .....	110

**Денчик Ю.М., Иванова Е.В., Иванов Д.М., Палагушкин Б.В., Романов М.Н., Сальников В.Г.**  
ВЛИЯНИЕ КОНДУКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ  
ПО НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ВИБРАЦИЮ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ДЛИННЫМ РОТОРОМ .....116

**Шарая С.Н., Сарбасова Н.Д.**  
АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД В ЗАДАЧАХ О ВНЕЗАПНОМ НАГРЕВЕ  
НАРУЖНЫХ СТЕН СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ .....124

**Кислов А.П., Талипов О.М.**  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ .....129

## **СЕКЦИЯ 2. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

**Емельянова О.О.**  
АНАЛИЗ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ  
НА ИЗОЛЯЦИИ КЛ 35 кВ .....137

**Иманов Э.Д.**  
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....142

**Редченко В.А.**  
ВЛИЯНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СЕТИ 110 КВ  
НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ШИНАХ  
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ 0,4 КВ НА ПРИМЕРЕ НЕФТЕГАЗОВОГО  
ПРОИЗВОДСТВА .....147

**Солодухина И.А.**  
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....152

**Целебровский Ю.В., Черненко Н.А.**  
АНАХРОНИЗМЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ  
6...35 КВ .....157

<b>Ломан В.А.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНО-ЗАВИСИМЫХ УСТРОЙСТВ .....	166
<b>Метенька Р.А., Садовская Л.В.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ПС 220 КВ ПЕТРОВСК-ЗАБАЙКАЛЬСКАЯ .....	172
<b>Кондрашкина Е.Г., Зиннатуллин А.У.</b> АВТОМАТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ .....	188
<b>Карапита Н.В.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЁННОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ ПРИ ОДНОФАЗНОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОКА НЕПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ .....	191
<b>Шаймарданов А.Ф.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ИЗОЛИРОВАННОЙ СЕТИ С СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ .....	198
<b>Шаймарданов И.Ф.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ КЛАССОМ НАПРЯЖЕНИЯ МЕНЕЕ 110 кВ .....	208
<b>Ананьев Е.И.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ С ПОМОЩЬЮ ВОЛНОВОГО МЕТОДА .....	215
<b>Владимиров Л.В., Савинов С.А., Захаров И.А.</b> СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ ПРОВОДОВ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ .....	222
<b>Вильбергер М.Е., Попов Н.С., Мосин М.Е., Аниброев В.И.</b> ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ДЕГРАДАЦИЮ ЛИТИЙ- ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ .....	228
<b>Дёмко А.И., Лобанов П.Ю.</b> УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ .....	236

<b>Кислицин Е.Ю., Завьялов Д.В.</b> РАСЧЕТ ВЕТРОВОЙ И ГОЛОЛЕДНОЙ НАГРУЗИ НА ПРОМЕЖУТОЧНУЮ ОПОРУ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЯ 110 КВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	245
<b>Манусов В.З., Иванов Г.В., Кислицин Е.Ю., Мамедов А.Н.</b> ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ.....	252
<b>Манусов В.З., Иванов Г.В., Талмазан Д.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ГОРОДА И РАЙОНА ЗА СЧЕТ ПЕРЕВОДА СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 6–10 кВ НА 20 кВ .....	262
<b>Жураев М.Р., Евдокимов А.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ВЕТРОСИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ В АВТОНОМНЫХ УСЛОВИЯХ РАБОТЫ.....	270
<b>Умурзакова А.Д., Сарбасова Н.Д.</b> К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ ТОО «KSP STEEL» .....	278
<b>Кайдар А.Б., Шапкенов Б.К., Марковский В.П., Кислов А.П., Талипов О.М.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	284

### **СЕКЦИЯ 3. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

<b>Шмыров И.Б.</b> ЭКРАНОПЛАН КАК СРЕДСТВО ОСВОЕНИЯ СЕВЕРА РОССИИ И АРКТИКИ.....	292
--	-----

<b>Мийзамов А.А., Енин В.М., Матющенко И.А.</b> АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ.....	298
<b>Фирсов А. В.</b> РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЦПС .....	302
<b>Ваганова А. А.</b> МУЛЬТИСЕРВИСНАЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ .....	309
<b>Федоровский И. М.</b> СИСТЕМА СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО РАДИОКАНАЛУ 5G.....	317
<b>Слепенко Ю.Ю., Аралов А.А., Бондарев Д.С., Рыжаков В.В.</b> ОЦЕНКИ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ В ЗАДАЧАХ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ .....	326
<b>Бабкин А.Ю., Колесникова Ю.К., Миняйло В.А., Петров М.В., Рыжаков В.В.</b> О НЕКОТОРЫХ ПРИКЛАДНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ КЛАССИФИКАЦИИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА .....	332

**СЕКЦИЯ 4. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ  
ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ  
И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ВУЗЕ**

<b>Колмаков О.В., Блинков А.К.</b> СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ИНТЕРАКТИВНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ .....	336
<b>Бородина Е.А., Семенова Л.Л.</b> ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОННЫМ УЧЕБНЫМ КУРСАМ ПО ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ ИНЖЕНЕРНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ .....	340

<b>Кондрашкина Е.Г., Прохорова Е.В., Семенова Л.Л., Чаппаров Ф.Х., Рыжаков В.В.</b> ЭКОСИСТЕМА ИНЖЕНЕРНЫХ ТРЕКОВ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОФИЛЯ.....	347
<b>Бородина Е.А., Семенова Л.Л.</b> РАЗРАБОТКА СЕТЕВОГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ДИСЦИПЛИНАМ ИНЖЕНЕРНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ В СИСТЕМЕ LMS MOODLE .....	353
<b>Урсакий В.М., Рыжаков В.В.</b> АРХИТЕКТУРА ПРИЛОЖЕНИЯ «КОЛЛЕКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ С ФУНКЦИЯМИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ».....	360
<b>Айгумусова Д.С., Жунусова Р.А.</b> ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОДЕЛЬНОГО ПРИБОРА «ДИНАМОМАШИНА» .....	363

# СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

---

---

УДК 330; 338; 662; 658

*Новикова А.С.<sup>1</sup>, Еременко О.В.<sup>2</sup>, Шпаков В.А.<sup>3</sup>, Волянская Е.В.<sup>4</sup>*

<sup>1,3,4</sup> РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва

<sup>2</sup> РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, филиал в г. Оренбурге

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ

г. Москва

**Аннотация.** Внедрение энергоэффективных технологий при разработке нефтегазовых месторождений на поздней стадии является одним из главных условий продления жизненного цикла их эксплуатации и минимизации темпов снижения рентабельности производства. При этом обобщение результатов промыслово-экспериментальных исследований показало, что в недропользовании есть специфические факторы, влияющие на результативность энергоинноваций, в частности, природно-технологические особенности коллекторов (фильтрационно-емкостные и физические свойства). В статье отражены отличительные характеристики энергосберегающих технологий в нефтегазодобыче с учетом влияния указанных факторов, предлагается портфель мероприятий по повышению энергоэффективности.

**Ключевые слова:** *энергосбережение в нефтегазодобыче; энергоинновации в рамках нефтегазовых месторождений на поздней стадии разработки.*

*Novikova A.S.<sup>1</sup>, Eremenko O.V.<sup>2</sup>, Shpakov V.A.<sup>3</sup>, Volyanskay E.V.<sup>4</sup>*

<sup>1,3,4</sup> National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow

<sup>2</sup> National University of Oil and Gas «Gubkin University», branche in Orenburg

## TECHNOLOGICAL ASPECT OF QUALITY IMPROVEMENT FUNCTIONING OF ELECTRIC NETWORKS

Moscow

**Abstract.** The introduction of energy-efficient technologies in the development of oil and gas fields at a late stage is one of the main conditions for extending the life cycle of their operation and minimizing the rate of decline in the profitability of production. At the same time, the generalization of the results of field and experimental studies showed that there are specific factors in subsurface use that affect the effectiveness of energy innovations, in particular, the natural and technological features of reservoirs (filtration-capacity and physical properties). The article reflects the distinctive characteristics of energy-saving technologies in oil and gas production, taking into account the influence of these factors, and formulates a portfolio of measures to improve energy efficiency.

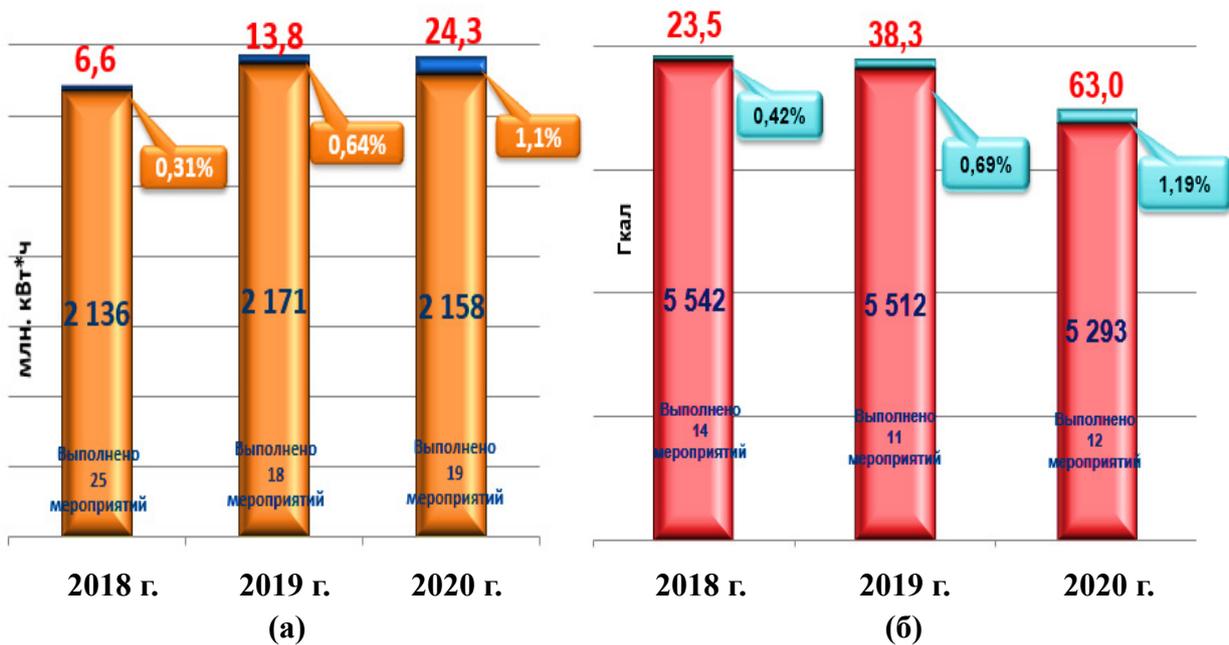
**Keywords:** *energy saving in oil and gas production; energy innovations in the framework of oil and gas fields at the late stage of development.*

Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ), начиная с 1984 года, вступило в стадию падающей добычи с сопровождающими ее процессами падения пластового давления и роста обводненности скважин [4]. В результате дебиты скважин снизились более быстрыми темпами, чем планировалось в Проекте разработки. Это частично объясняется тем, что ОНГКМ представлено карбонатными коллекторами с порово-трещинной структурой, основные запасы углеводородов в которых приурочены к низкопроницаемой матрице [2].

Ситуация осложнилась еще и тем, что в залежи проявились зоны вертикальной трещиноватости и тектонических нарушений, по которым вода растекается по высокопроницаемым пропласткам к забоям соседних скважин [3]. Пластовая вода затрудняет, а зачастую и блокирует фильтрацию газа из поровой матрицы. Снизившиеся, таким образом, темпы отработки запасов газа на участках массового обводнения привели к формированию слабодренируемых зон в Основной залежи и увеличению энергоемкости добычи сырья. Проводимые мероприятия по энергосбережению (ЭСМ) несколько смягчили проявившиеся негативные тенденции (рисунок 1).

В качестве положительной тенденции стоит отметить и тот факт, что, несмотря на сокращение числа проведенных ЭСМ, возрастает их эффективность. Только в 2020 году за счет выполнения 31 ЭСМ (19 — по электросбережению

и 12 — по теплосбережению) удалось сэкономить 1,1% электро- и 1,19% теплоэнергии.



**Рисунок 1.** Итоги выполнения программы энергосбережения газопромыслового управления по электро- (а) и теплоэнергии (б) в 2018 — 2020 гг.

Таким образом, в условиях падения пластового давления решение задачи поддержания стабильного уровня добычи углеводородного сырья (УВС) на месторождении и вовлечение в промышленную отработку «защемлённых» запасов газа Основной залежи в значительной степени зависят от реализации энергоэффективных технических решений. Так, с целью предотвращения исключения запасов из процесса дренирования устойчивая эксплуатация обводненных газовых скважин обеспечивается путем их перевода на механизированную (насосную) добычу УВС и поступающей на забой скважин пластовой воды [6]. Совместный отбор газа и жидкости позволяет значительно сократить высоту столба жидкости в стволе скважины, снизить забойное давление и, в результате, предотвратить самозадавливание скважин, увеличив приток газоконденсатного сырья. В скважинах, где самозадавливание происходит при незначительных объемах поступающей пластовой воды или при накоплении жидких углеводородов в стволе, снижение энергоёмкости добываемой продукции достигается при применении плунжер-лифта, а также внедрении научно-технических разработок, способствующих удалению жидкости с забоя (например, подача на забой скважины вспенивающих составов).

Наибольший энергосберегающий эффект обеспечивается при комплексной реализации программы наращивания и модернизации мощностей цеха поддер-

жания пластового давления (ППД), среди которых наиболее эффективными для условий ОНГКМ признаны: ввод третьих ступеней сжатия на существующих дожимных компрессорных станциях (ДКС-1, ДКС-2, ДКС-3); замена нагнетателей ДКС на нагнетатели, позволяющие компримировать газ на первой ступени с 0,7 до 3,0 Мпа, а на второй ступени — с 3,0 до 6,0 Мпа [7]. В отношении замены нагнетателей следует отметить их особую значимость, так как давление на ДКС определяет диапазон возможных режимов работы скважин и промысла.

Тем не менее, при существующей системе разработки ОНГКМ замедление падения объемов добычи и снижение удельной энергоемкости добываемой продукции может быть обеспечено снижением давления на устье скважин исключительно после завершения модернизации ДКС, в то время как задержка сроков ввода новых ступеней сжатия станет основной причиной невыполнения проектных показателей по объему добычи газа. Экономическая эффективность модернизации представлена в таблице 1.

**Таблица 1.** Показатели эффективности модернизации оборудования ДКС

Показатели	Значение за расчетный период (2021 — 2051 гг.)
Дополнительная добыча, в том числе:	
— газа сепарации, млн. м <sup>3</sup> ;	47281
— стабильного и нестабильного конденсата, тыс. т.	1236,7
Увеличение выручки от реализации продукции, млрд. руб.	264,3
Инвестиционные затраты, млрд. руб.	34,8
Операционные затраты, млрд. руб.	161,9
ЧДД, млрд. руб.	0,037
Период окупаемости, лет	15,7

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, благодаря модернизации мощностей по компримированию газа до 2051 года будет достигнут значительный прирост добычи газа и конденсата, возросшая выручка от реализации которых позволит окупить инвестиции, а также повысить рентабельность производства, снизить удельное энергопотребление (при условии общего сокращения расхода энергоресурсов в условиях падающей добычи).

В свою очередь, необходимо понимать, что энергосбережение, достигаемое за счет модернизации ДКС, реализуется в долгосрочном периоде и является частным случаем энергоэффективности, направленной на рост инновационности предприятия в перспективе. Если быть более точным, то основной потенциал энергосбережения нефтегазодобывающего производства сосредоточен в кратко- и среднесрочных ЭСМ, позволяющих сократить затраты энергоресурсов более

быстрыми темпами [8]. Одним из таких мероприятий, входящих в портфель инноваций в области энергосбережения Оренбургского газопромыслового управления является внедрение информационно-аналитической системы на ДКС [1], способной проводить в автоматическом режиме параметрическую диагностику технического состояния газоперекачивающих агрегатов; устанавливать оптимальную температуру газа за аппаратом воздушного охлаждения газа (АВОГ) ДКС для снижения гидравлического сопротивления при дальнейшей транспортировке газа; сократить число перепусков газа с нагнетания на входе в центр ниток байпасирования и количество перепусков газового конденсата с нагнетания на входе насосов ДНС; осуществлять мониторинг показателей энергоэффективности ДКС и др.

Что касается энергомониторинга, то в данной статье мы рассматриваем подробно одну из его функций, а именно: расчёт фактического потребления энергоресурсов и его сравнение с плановым значением с целью выявления и своевременного устранения проблем. Подобный анализ причин превышения норматива и своевременное их устранение обеспечит ежегодное сокращение расхода топливного газа на 1% (971,4 тыс. м<sup>3</sup>/год), электроэнергии — на 2% (или 114,6 тыс. кВт\*час.).

Более того, наличие информации о причинах возникновения отклонений в энергопотреблении позволяет оптимизировать процесс планирования ремонтно-профилактических мероприятий, направленных на повышение надежности и эффективности работы ГПА. В частности, в настоящее время одной из причин снижения эффективности работы ГТУ является загрязнение проточной части осевого компрессора, снизившей КПД ГПА в 2020 году с 27% до 25%. Зафиксированное опоздание в установлении причины и проведении ремонта осевого компрессора на 723 часа привело к перерасходу топливного газа в размере 596 тыс. м<sup>3</sup> газа или (в стоимостном выражении) к потерям на уровне 1459,6 тыс. рублей, что усугубило показатели и без того нерентабельной эксплуатации зрелого месторождения, в особенности, в части эксплуатации нефтяных скважин.

Дело в том, что нефтяные скважины карбонатных коллекторов месторождения эксплуатируются путем заводнения при неполной компенсации (недокомпенсации). В этом случае накопленная добыча воды уменьшается на 6%, а нефти — на 5%, что также (как и в случае газовых скважин) приводит к снижению пластового давления и обуславливает активизацию усилий специалистов по обоснованию режима работы скважин [5]. Одним из наиболее успешных для геолого-промысловых условий ОНГКМ признан режим циклического заводнения с увеличением продолжительности полуцикла падения пластового давления, максимально активизирующий упруго-капиллярные проявления в пластовой системе, КИН и снижающий удельный расход электроэнергии (таблица 2).

**Таблица 2.** Показатели энергоэффективности использования режима циклического заводнения при эксплуатации нефтяных скважин, кВт\*ч/т

Удельный расход электроэнергии в процессах	Традиционный режим	Режим циклического заводнения	Изменение, %
Добыча жидкости.	32.25	32.09	-0,5
Механизированная добыча нефти	20.63	20.57	-0,3
ППД	9.08	9.14	-0,7
Промысловая подготовка и транспорт нефти	1.67	1.66	-0,5
Сбор и транспорт ПНГ	18.71	15.97	-14,5
Прочие расходы на СТН.	0.82	0.67	-18,5

Как видим, наибольшее сокращение удельного расхода электроэнергии при смене технологического режима наблюдается в процессе сбора ПНГ и в работе цеха ППД (14,5% и 0,7%, соответственно). Положительный эффект получен во всех без исключения технологических процессах добычи нефти, что позволяет утверждать о энергоэффективной целесообразности данного решения.

Кроме этого, результаты практического внедрения различных ЭСМ на нефтяных скважинах подтвердили эффективность таких ЭСМ, как:

- применение УЭЦН нового типоразмера линейки DN;
- сокращение потерь электроэнергии в силовых трансформаторах;
- внедрение ЧРП для насосов ППД и насосов Пит;
- установка устройств компенсации реактивной мощности и станций управления УЭЦН с частотным регулированием;
- оптимизация схемы работы насосных агрегатов КНС.

Данный инвестиционный портфель ЭСМ уже в первый год их применения охарактеризовался положительной динамикой ЧДД в размере 6.521 млн. руб. и общей годовой экономией электроэнергии — 22696 тыс. кВт\*ч.

Таким образом, учитывая особенности эксплуатации нефтегазоконденсатного месторождения, были установлены факторы, оказывающие влияние на энергопотребление и эффективность ЭСМ, среди которых важнейшими являются фильтрационно-емкостные и физические свойства коллекторов. От них зависит режим и способы эксплуатации скважин, определяющие энергоемкость добываемой продукции. К числу ЭСМ, обеспечивающих максимальную энергоэффективность в условиях ОНГКМ мы отнесли модернизацию и расширение мощностей ППД, применение плунжер-лифта на солнечных батареях, внедрение цифровых технологий на ДКС.

## Список литературы

1. Дмитриевский А.Н., Мартынов В.Г. Цифровизация и интеллектуализация нефтегазовых месторождений // Современные методы и алгоритмы систем автоматизации (СА) в НГК. 2016. №2(24). С.13-19.
2. Еременко О.В. Организационно-экономический механизм реализации инноваций в рамках энергоменеджмента газоперерабатывающего завода. // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2017. № 4(98). С. 14-24.
3. Eremenko O.V., Novikova A.S. Improvement of technologies as a basis for effective development of Mature field // «Geonature 2019»: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции при поддержке международных организаций EAGE, SEG, AAPG . — Тюмень: ТИУ, 2019. doi.org/10.3997/2214-4609.201900625
4. Иванов С.И. Разработка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ОНГКМ). // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2006. №7. С. 3-31.
5. Мищенко И.Т., Бравичев К.А., Казаков К.В., Шайхлисламова Э.Р. Анализ эффективности применения технологии циклического заводнения в неоднородных расчлененных коллекторах // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. 2019. №2. С. 34–40.
6. Novikova A.S., Eremenko O.V. Intellectualization tools that increase the efficiency of oil and gas condensate field development / Youth Technical Sessions Proceedings / Proceedings of the VI Youth Forum of the World Petroleum Council — Future Leaders Forum. — UK, London. 2019. Pp, 190-197.UK
7. Novikova A.S., Eremenko O.V. Innovations that increase environmental-economic sustainability of the Russian subsoil users // 19th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2019. Volume 19. Sofia, Bulgaria. 2019. P. 445-450.
8. Novikova A.S., Eremenko O.V., Gancharov S.A. Scientific-technical developments that ensure the growth of the resource potential of the regional oil and gas complex // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 14th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2019). Volume 1019. Article 012035 — Tomsk; 2021, doi.org/10.1088/1757-899X/1019/1/012035. Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1019/1/012035/meta>

УДК 621.3

*Усков Дмитрий Сергеевич, Науменко Артем Александрович,  
Вальянов Данила Павлович*

КрИЖТ ИрГУПС

*Научный руководитель: О.В. Колмаков*

к.т.н, доцент, КрИЖТ ИрГУПС

## СПОСОБ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

г. Красноярск

**Аннотация.** В данной статье приведены основные показатели качества электроэнергии и способы повышения её качества. Были описаны негативные воздействия высших гармоник, что ведёт к увеличению потерь на трансформаторах, линиях электропередач, а также к ускоренному старению изоляции электрооборудования и ложного срабатывания устройств релейной защиты. Рассмотрены статические и динамические накопители электрической энергии, принцип действия, область их применения, основные достоинства и недостатки. Приведена схема питания, основанная на действии двух диодов и двух накопителей. Указаны преимущества данной схемы.

**Ключевые слова:** *накопители, гармоники, электроэнергия, энергосбережение.*

*Uskov Dmitry Sergeevich, Naumenko Artem Aleksandrovich,  
Valyanov Danila Pavlovich*

Krasnoyarsk Railway Transport Institute, branch of Irkutsk State Railway  
Engineering University (KRIZHT IrGUPS)

*Kolmakov Oleg Vitalievich*

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Krasnoyarsk Railway Transport Institute, branch of Irkutsk State Railway  
Engineering University (KRIZHT IRGUPS)

ELECTRIC ENERGY STORAGE DEVICES

Krasnoyarsk

**Abstract.** This article presents the main indicators of the electricity quality and the ways to improve its quality. The negative effects of higher harmonics were described, which leads to the increase in losses on transformers, power lines, as well as to accelerated aging of the electrical equipment insulation and false triggering of the relay protection devices. The static and dynamic electric energy storage devices, the principle of operation, the scope of their application, the main advantages and disadvantages are considered. The power supply circuit based on the action of two diodes and two storage devices is shown. The advantages of this scheme are indicated.

**Keywords:** *storage devices, harmonics, electricity, energy saving.*

### Качество электроэнергии

Качество электрической энергии — степень соответствия параметров электрической энергии их установленным значениям. К параметрам электрической энергии относят напряжение, частоту, форму кривой электрического тока.

Качество электрической энергии имеет переменный характер в течение суток, который может зависеть от изменения нагрузки энергосистемы, возникновения аварийных режимов, загрязнения сети гармониками, быстрых изменений напряжения, неравномерности нагрузки и т.д.

### Основные показатели качества электроэнергии

1. Отклонение напряжения
2. Колебания напряжения
3. Отклонение частоты
4. Доза фликера
5. Коэффициент временного перенапряжения
6. Провал напряжения
7. Импульсное напряжение
8. Несимметрия напряжений в трёхфазной системе
9. Несинусоидальность формы кривой напряжения

### Способы повышения качества электроэнергии

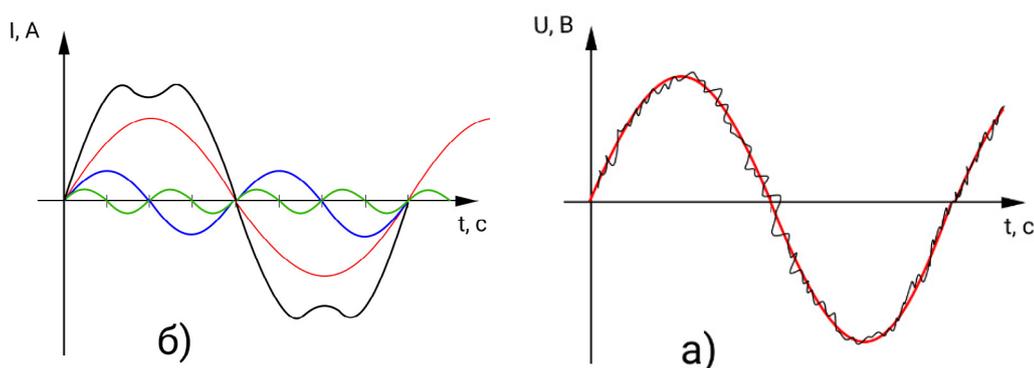
- Использование конденсаторных батарей для компенсации реактивной мощности;
- Использование синхронных машин для регулирования величины реактивной мощности;

- Использование вентильных преобразователей для преобразования напряжения и частоты электрического тока с помощью электронных и ионных вентиляей;
- Использование фильтров гармоник (активных, пассивных и комбинированных) для борьбы с высшими гармониками.

## Гармоники

Широкое применение устройств с нелинейными вольтамперными характеристиками (ВАХ) приводит к увеличению уровня высших гармоник токов и напряжений в электрических сетях и, следовательно, является одной из причин ухудшения качества электроэнергии. Такими нагрузками являются импульсные источники питания, приводы электродвигателей с регулируемой скоростью вращения и т.д.

Токи и напряжения несинусоидальной формы можно представить в виде суммы гармоник. Частоты, которых кратны основной частоте питающей сети.



**Рисунок 1.** Графики искажений  
а) Напряжения; б) Тока

Результатом воздействия высших гармоник на систему электроснабжения является увеличение потерь на трансформаторах, линиях электропередач (ЛЭП), во вращающихся машинах, а также ускоренное старение изоляции электрооборудования и ложные срабатывания устройств релейной защиты и автоматики.

Формы негативного влияния высших гармоник на системы электроснабжения:

- Увеличение токов и напряжений высших гармоник вследствие параллельного и последовательного резонансов;
- Снижение эффективности процессов генерации, передачи, использования электроэнергии;
- Старение изоляции электрооборудования и сокращение срока его службы;
- Ложное срабатывание оборудования.

## Накопители электроэнергии

### Статические (Ёмкостные) накопители

В ёмкостных накопителях (ЕН) энергия накапливается и хранится в виде энергии электрического поля, создаваемого в изоляционной среде между обкладками конденсатора. Основным недостатком таких накопителей является то, что плотность накопленной в них энергии на несколько порядков меньше, чем в индуктивных. Низкое рабочее напряжение и малое время хранения энергии тоже относится к недостаткам

В ёмкостных накопителях возможно получение разрядного тока значительно больше, чем зарядный. Это делает возможным увеличение мощности при питании нагрузки с малым сопротивлением. Для питания данной нагрузки используются конденсаторные батареи, состоящие из большого числа последовательно и параллельно соединённых конденсаторов. Так же достоинствами является то, что за счет статического электрического поля создаваемого в изоляционной среде между обкладками конденсатора уменьшаются потери и, следовательно, увеличивается длительность хранения накопленной энергии. [4]

Применение ёмкостных накопителей ограничено их недостатками:

- Высокая стоимость
- Необходимость изменения полярности при переходе из режима «заряд» в режим «разряд»
- Устройства управления ЕН на основе тиристорных преобразователей создают большое количество высших гармоник, которые искажают синусоидальный переменный ток

Область применения конденсаторов в электроэнергетике ограничивается кратковременным накоплением электрической энергии, выпрямлением, коррекцией и фильтрацией тока в схемах силовой электротехники

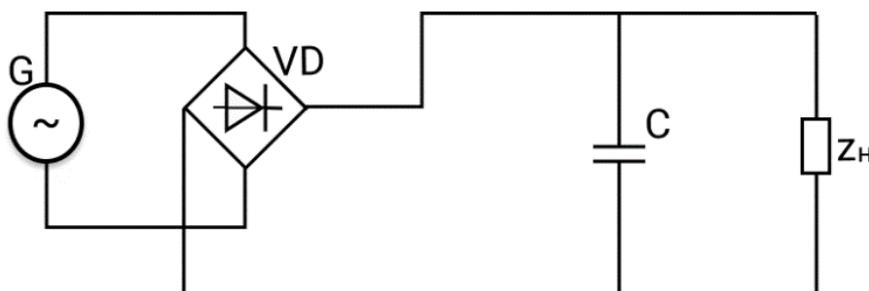
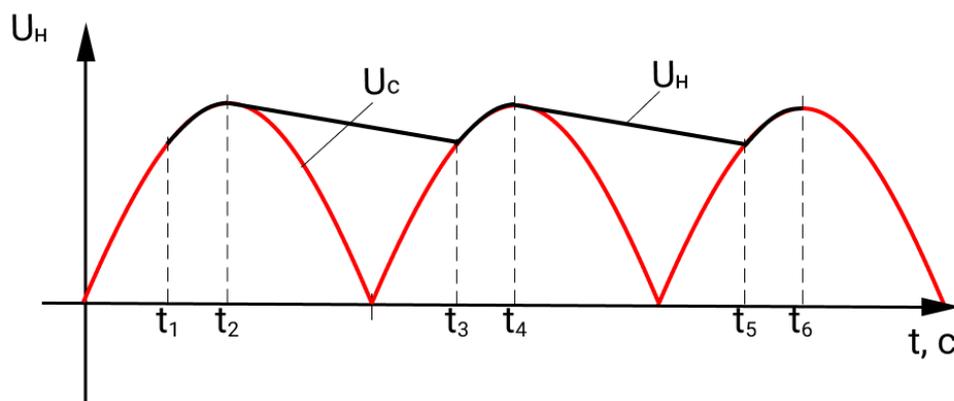


Рисунок 2. Схема выпрямителя на основе диодного моста и сглаживающего конденсатора



**Рисунок 3.** График сглаженного напряжения  
В момент времени  $t_1, t_2$  нагрузка питается импульсным напряжением

### *Динамические (индуктивные) накопители*

Индуктивные накопители представляют собой катушки с током. Энергия магнитного поля, созданного в катушке и в пространстве вокруг неё, может быть преобразована в электрическую и передана в нагрузку. Для этого необходимо нагрузку присоединить параллельно катушке, а катушку отсоединить от источника питания. В нагрузке будет развиваться мощность, превышающая мощность источника во столько раз, во сколько сопротивление нагрузки больше суммы сопротивления катушки и внутреннего сопротивления источника питания. [4]

В индуктивном накопителе нельзя хранить долго энергию, т.к. она расходуется на нагрев катушки из-за конечного сопротивления обмотки.

Чем большую мощность требуется получить от индуктивного накопителя, тем выше будет напряжение. Предельные мощности достигают  $10^{10}$  Вт при напряжениях до миллиона вольт.

Отличительной чертой индуктивных накопителей является высокая плотностью накапливаемой энергии (до  $10^6$ – $10^7$  Дж/м<sup>3</sup>), возможность накопления больших энергий. Главным же недостатком является ограниченная скорость вывода накопленной энергии из-за проблем обеспечения электрической прочности изоляции катушки и коммутатора тока. [4]

Преимущества индуктивных накопителей:

- Запасаемая и используемая энергия имеет один вид — электромагнитный
- Высокие значения КПД (97-98 %) из-за отсутствия необходимости преобразования энергии
- Быстродействие устройства

В настоящее время питание потребителей происходит по схеме с диодным мостом и со сглаживающим конденсатором. Главным недостатком такого выпря-

мителя является импульсное напряжение. Для устранения пульсаций напряжения применяют сглаживающий конденсатор.

За время полуволны напряжения происходит заряд конденсатора от источника, т.е. диодного выпрямителя, а его разряд на нагрузку во время отсутствия, либо малого по амплитуде напряжения, на выходе выпрямителя. [5]

В качестве альтернативного источника вторичного питания предлагается вариант с использованием двух накопителей. Т.е. положительная полуволна будет накапливаться на первом накопителе, а отрицательная на втором и в момент, когда происходит разрядка одного накопителя второй будет заряжаться. Накопители энергии в течение полупериода накапливают энергию. В требуемый момент времени накопитель подключается к нагрузке и отдает ей запасенную энергию. Предлагаемая схема позволит снизить влияние высших гармоник на питающую сеть.

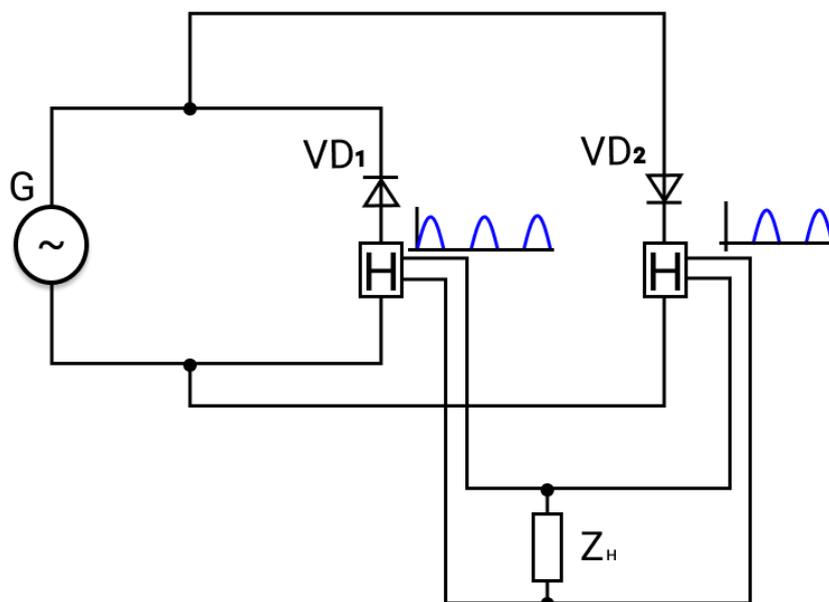


Рисунок 4. Схема питания нагрузки через накопители

### Заключение

Предлагаемый алгоритм работы вторичного источника питания позволит изолировать нелинейную нагрузку от внешней сети в момент энергопотребления. Это позволит защитить чувствительное оборудование от высших гармоник, которые присутствуют в общей сети питания, а также снизит влияние нелинейной нагрузки на питающую сеть.

### Список литературы

1. Заметки электрика//основные показатели качества электроэнергии [сайт] URL:<https://yandex.ru/turbo/asutpp.ru/s/kachestvo-jelektrojenergii.html> (Дата обращения 12.03.2021)
2. Школа электрика//воздействие высших гармоник [сайт] URL: <http://electrical-school.info/main/elsnabg/260-vlijanie-vysshikh-garmonik.html> (Дата обращения 13.03.2021)
3. Электрические сети//влияние высших гармоник [сайт] URL: <https://leg.co.ua/knigi/raznoe/vysshie-garmoniki-v-nizkovoltnyh-elektricheskikh-setyah-4.html>
4. Авруцкий В.А.[и др.]. Накопители энергии и их применение: учебное пособие по курсу Испытательные и электрофизические установки, техника эксперимента. Москва, МЭИ, 1982г. — 78 с.
5. В. Н. Авруцкий [и др.]. Москва : УМЦ ЖДТ, 1982. 77 с.  
Сглаживающие фильтры питания [сайт] URL: [https://overclockers.ru/blog/OQtagooi/amp/17694/Likbez\\_KO\\_Lekciya\\_4\\_Sglazhivajuschie\\_filtry\\_pitaniya](https://overclockers.ru/blog/OQtagooi/amp/17694/Likbez_KO_Lekciya_4_Sglazhivajuschie_filtry_pitaniya) (Дата обращения 15.03.2021)

УДК 621.315.3

*Кислицин Е.Ю., Кочуров Н.А.*

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ПРИМЕНЕНИЕ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРУЮЩИХ  
ПРОВОДОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
ГЛУБИННЫХ СКВАЖИН НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
В РАЙОНЕ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО  
ОКРУГА-ЮГРЫ

г. Сургут

**Аннотация.** Рассматривается вариант повышения надежности электроснабжения районов нефтяных месторождений Ханты-Мансийского автономного округа — Югры путем применения воздушных линий 6-35 кВ с самонесущими изолированными проводами СИП-3.

**Ключевые слова:** *воздушные линии электропередач, самонесущие изолированные провода СИП, повышение надежности электроснабжения.*

*Kislitsin E. Yu., Kochurov N. A.*

Surgut State University, Surgut

APPLICATION OF SELF-SUPPORTING INSULATED WIRES  
IN POWER SUPPLY SYSTEMS OF DEEP WELLS OF OIL  
FIELDS IN THE AREA OF KHANTY-MANSI AUTONOMOUS  
OKRUG — YUGRA

Surgut

**Abstract.** Consideration is being given to improving the reliability of electricity supply to the oil fields of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra by using 6-35 kV overhead power transmission lines with self-supporting isolated wires SIP-3.

**Keywords:** *overhead power transmission lines, self-supporting isolated wires SIP, reliability of the power supply.*

Ханты-Мансийский автономный округ — Югра является основным нефтегазовым субъектом Российской Федерации и одним из крупнейших нефтедобывающих регионов мира. Относится к регионам донорам России и лидирует по ряду основных экономических показателей:

- 1) по добыче нефти;
- 2) по производству электроэнергии;
- 3) по объему промышленного производства;
- 4) по добыче газа.

На территории ХМАО-Югры находятся следующие наиболее крупные объекты генерации: Сургутская ГРЭС-1 (установленная мощность — 3333 МВт); Сургутская ГРЭС-2 (установленная мощность — 5667,143 МВт); Нижневартовская ГРЭС (установленная мощность — 2031 МВт); Няганская ГРЭС (установленная мощность — 1361 МВт), общая установленная мощность которых составляет 12392,1 МВт. Электростанции промышленных предприятий: передвижная электростанция Казым (установленная мощность — 72 МВт); Приобская ГТЭС (установленная мощность — 315 МВт); ГТЭС Верхнеколик-Еганского месторождения (установленная мощность — 24 МВт); ГТЭС Западно-Полуденного месторождения (установленная мощность — 7,5 МВт), общая установленная мощность которых составляет 418,5 МВт. Таким образом, на территории ХМАО находятся объекты генерации суммарной установленной электрической мощностью 12810,6 МВт.

За последние 20 лет (с 2000 по 2019 годы) на территории ХМАО-Югры энергопотребление увеличилось с 32 млрд. кВт•ч до 69 млрд. кВт•ч, что соответствует приросту в 215%. На рисунке 1 представлена отраслевая структура электропотребления по территории автономного округа. [3] Данный показатель прироста потребления электрической энергии, в первую очередь, связан с развитием нефтяной промышленности округа (введение новых скважин, сооружение вахтовых поселков, нефтеперерабатывающего завода).

Анализ территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры: [3]

- 1) по ветровому давлению район относится ко II группе;
- 2) по толщине стенки гололеда район относится к I, II группам;
- 3) абсолютная минимальная температура воздуха достигает  $-55^{\circ}\text{C}$ , абсолютная максимальная температура воздуха достигает  $38^{\circ}\text{C}$ ;
- 4) период отрицательных температур около 200 дней.

Особенностью грунтов ХМАО-Югры является наличие многолетнемерзлых грунтов, которые имеют следующие свойства:

1. Оттаивание верхнего слоя в теплое время года, приводящее к потере несущей способности;
2. Увеличение объема грунта при промерзании из-за превышения объема льда объемом исходной воды (пучинистость);

3. Просадка грунтов, вызванная выталкиванием ледяных включений грунта;
4. Монотонные деформации грунта при неизменной нагрузке (ползучесть), приводящие к снижению прочности грунта;
5. Включение подземных льдов.

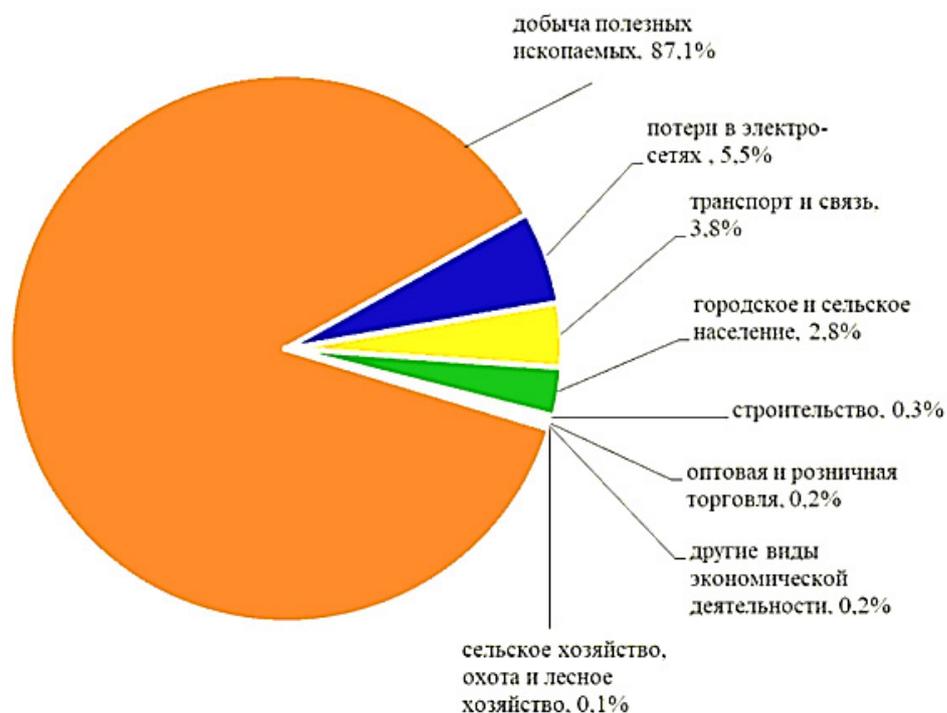


Рисунок 1. Структура электропотребления ХМАО-Югры

Перечисленные факторы приводят к образованию наледи на проводах ВЛ и их обрыву, выталкиванию фундаментов несущих опор воздушных линий электропередач, что вызывает опрокидывание опор и возникновение перехлеста проводов с однофазными и трехфазными короткими замыканиями. Наиболее характерными являются однофазные короткие замыкания на землю. Простои в электроснабжении нефтегазовых месторождений могут привести к значительным материальным ущербам, связанным необходимостью обесточивания участка. Длительные простои в работе скважины приводят к ее обводнению, что затрудняет ввод скважины в работу по добыче нефти или газа. [1]

Для повышения надежности электроснабжения нефтегазовых месторождений необходимо использовать новые технологии в проектировании воздушных линий электропередачи. В конце 1980-х годов в Скандинавских странах была разработана система с использованием проводов с защитным покрытием на напряжение 6–35 кВ. В результате использования таких систем в Финляндии среднее время отключения воздушных линий по всей территории составило не более 135 минут за год. [2]

Такие линии с защищенными проводами в процессе эксплуатации требуют малого обслуживания, что привело к повышению безопасности распределительных сетей. С 1997 года отечественной промышленностью начат выпуск похожего по характеристикам провода, который был назван самонесущий изолированный провод — СИП. Отличие от зарубежных аналогов заключается в более широком диапазоне сечений, гидрофобным слоем между жилой и изоляцией. Жила выполнена из алюминиевого сплава высокой прочности или из сталеалюминия. Изоляция выполнена из силанольноштитого полиэтилена, что расширило температурный диапазон изоляции (900°С в долговременном режиме, 1300°С в режиме длительной нагрузки и 2500°С в режиме короткого замыкания). В изоляцию добавлена сажа для устойчивости полиэтилена к ультрафиолетовому излучению. Изоляционный слой выполняет только защитную функцию, так как его толщина составляет 2,3 мм. Привлекательность провода обусловлена следующими факторами: защита от схлестывания; отсутствие обледенения; исключено хищение проводов, так как провода не подлежат вторичной переработки; уменьшение габаритов линии и требования к просеке для прокладки и в процессе обслуживания; высокая механическая прочность, что снижает риск обрыва; высокая пожаробезопасность из-за отсутствия короткого замыкания при схлестывании; относительно невысокая стоимость линии.

При обосновании технических решений по применению СИП воздушная линия определена, как система, состоящая из опор, проводов, линейной арматуры и устройств релейной защиты и автоматики. [2] Основная проблема, затрудняющая широкое использование СИП была связана с отсутствием нормативной базы. В 2005 году был разработан национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52373-2005 «ПРОВОДА САМОНЕСУЩИЕ ИЗОЛИРОВАННЫЕ И ЗАЩИЩЕННЫЕ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ». В 2012 году был разработан межгосударственный стандарт ГОСТ 31946-2012 с идентичным названием, который является действующим и по сей день. С учетом концепции развития распределительных электрических сетей предусматривается переход к проектированию и строительству ВЛ различного класса напряжений с применением экологически безопасных элементов, не требующих плановой замены проводов в течении всего срока эксплуатации.

К существенным достоинствам СИП можно отнести: [2]

- 1) высокая надежность в электроснабжении;
- 2) высокая безопасность при обслуживании (отсутствие риска поражения при касании фазных проводов, находящихся под напряжением);
- 3) высокая надежность в зонах активного обледенения проводов, уменьшение гололедных и ветровых нагрузок на опоры;

- 4) бесперебойное электроснабжение при срыве СИП с опор;
- 5) снижение потерь электроэнергии в линии за счет уменьшения реактивного сопротивления (по сравнению с неизолированными проводами);
- 6) снижение риска возникновения пожаров в лесистой местности при падении провода на землю;
- 7) отсутствие или незначительное обледенение изолированной поверхности проводов;
- 8) резкое снижение эксплуатационных затрат, вызванное отсутствием необходимости в расчистке просеки в процессе эксплуатации линии, замены поврежденных изоляторов;
- 9) снижением несанкционированного отбора электроэнергии.

К основным недостаткам ВЛ с изолированными проводами можно отметить:

- 1) увеличение стоимости СИП по сравнению с неизолированными проводами;
- 2) неготовность энергосистем к переходу на ВЛ с СИП из-за недостаточности информации, нормативной документации и подготовленности персонала.

Технико-экономическое сравнение СИП и неизолированного провода на примере ВЛ напряжением 10 кВ приведено в таблице 1.

**Таблица 1.** Технико-экономическое сравнение

Показатель	СИП	Неизолированный провод	Экономический результат
Капитальные вложения на 1 км, тыс. руб.	160,2	132	Стоимость ВЛ с СИП увеличивается на 30%
Эксплуатационное обслуживание на 1 км, тыс. руб.	8,91	59,4	Сокращается на 85% для ВЛ с СИП
Реактивное сопротивление, Омкм	0,35	0,1	Снижение потерь составляет 6,5%
Возникновение повреждений:			Устраняются
обрыв провода	0%	24,4%	
схлестывание	0%	17%	

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений (эксплуатационных расходов) для линии с самонесущими изолированными проводами напряжением 10 кВ составляет — 1,76 года. [2]

Из этого следует вывод о целесообразности применения ВЛ с изолированными проводами СИП, особенно для районов нефтегазодобычи ХМАО-Югры, а строительство ВЛ с неизолированными проводами для этих районов рекомен-

довать только в виде исключения. Статья может быть опубликована в открытой печати.

### Список литературы

1. Манусов В.З. Будущее энергетики — возможности систем самонесущих изолированных проводов. /В.З. Манусов, Д.С. Соболев //Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2009. — № 1. — С. 293–295.
2. Манусов В.З. Сравнительный анализ преимуществ самонесущих изолированных проводов с неизолированными воздушными линиями / В.З. Манусов, М.Н. Попович // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2009. — № 1. — С. 295–299.
3. Распоряжение правительства Ханты-Мансийского Автономного округа — Югры от 31 июля 2020 года N 443-рп «Об одобрении схемы и программы развития электроэнергетики Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2025 года» [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/570863613> (дата обращения: 02.04.2021).

УДК 621.31

*Трубицын С.В.*

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

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКЛОУЗЕРОВ

г. Сургут

**Аннотация.** От надежности электроснабжения и качества функционирования электрических сетей зависит жизнь миллионов граждан Российской Федерации, многочисленные образовательные и медицинские учреждения, объекты водо- и теплоснабжения, а также крупные промышленные предприятия. Наиболее протяжёнными и в тоже время изношенными являются распределительные сети 6–10 кВ, а возможности по их реконструкции или замене сильно ограничены. В данной статье рассматривается внедрение реклоузеров как одно из самых простых и эффективных методов повышения надежности распределительных электрических сетей.

**Ключевые слова:** показатели надежности, распределительная электрическая сеть, реклоузер, электроснабжение.

*Trubitsyn S.V.*

Surgut State University, Surgut

## IMPROVING THE QUALITY OF FUNCTIONING OF DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS WITH THE USE OF RECLOSERS

*Surgut*

**Abstract.** The lives of millions of citizens of the Russian Federation, numerous educational and medical institutions, water and heat supply facilities, as well as large industrial enterprises depend on the reliability of electricity supply and the quality of functioning of electric networks. The most extensive and at the same time worn-out

distribution networks are 6–10 kV, and the possibilities for their reconstruction or replacement are very limited. This article discusses the implementation of reclosers as one of the simplest and most effective methods to improve the reliability of distribution networks.

**Keywords:** *reliability indicators, distribution network, recloser, electric power supply.*

Общая протяженность электрических сетей всех классов напряжения составляет более 2,5 млн. км, из которых немалая доля приходится на сети с номинальным напряжением 6–10 кВ [1]. Помимо высокой общей протяженности, данные сети характеризуются сложной конфигурацией и высоким износом (50% сетей выработали свой нормативный срок, 7% сетей два нормативных срока [2]). Несмотря на повышение энергоэффективности электроустановок и приборов (энергосберегающая лампы т.д.), на первый план все равно выходит рост потребления электроэнергии из-за увеличения электрификации населения, усложнения технологических процессов и их автоматизация. Таким образом, даже в сельских распределительных сетях наблюдается рост потребления электричества, при этом некоторые из них были спроектированы и построены еще во времена Советского Союза. Данные сети в большинстве случаев являются разомкнутыми и неавтоматизированными; в случае повреждения линии происходит прекращение питания всех электроприемников, а продолжительность поиска повреждения может составлять несколько часов, из которых лишь приблизительно 40% времени занимают ремонтные работы, в то время как остальное время уходит на поиск и локализацию поврежденного участка [3]. Повысить качество функционирования электрических сетей и уменьшить время на поиск и устранения повреждений можно путем секционирования с помощью реклоузеров.

Реклоузер (автоматический пункт секционирования электрической сети) — устройство, предназначенное для автоматического отключения, а также повторного включения цепи переменного тока в режимах короткого замыкания (КЗ) и без КЗ по предварительно заданной последовательности циклов отключения и включения с последующим возвратом функции автоматического повторного включения (АПВ) в исходное состояние, сохранением включенного положения или блокировкой в отключенном положении [5].

Реклоузеры более функциональны и удобны в эксплуатации, чем традиционные пункты секционирования, выполненные на базе ячеек комплектно-распределительных устройств (КРУ) [7]. Аппаратом можно управлять, как дистанционно, так и непосредственно на месте установки реклоузера и позволяет диспетчеру электросети следить за параметрами линии

электропередач (ЛЭП) в режиме реального времени (при помощи встроенных в реклоузер датчиков тока и напряжения). Возможность непрерывного мониторинга и дистанционного управления позволяют диспетчеру оперативно принимать решения и направлять ремонтную бригаду в нужное место, а также при необходимости дистанционно запитать неповрежденные участки [6]. Сокращается время недопоставки электроэнергии, уменьшается время, требуемое на локализацию повреждений, снижаются затраты на обслуживание линии, оптимизируется сам процесс ремонта и минимизируется количество отключенных абонентов. При необходимости реклоузер может устанавливаться в точке разграничения балансовой принадлежности между сетевой компанией и потребителем. Все отключения, которые вызваны на абонентских линиях будут однозначно идентифицированы и не приводят к судебным тяжбам. Также нельзя не отметить, что сроки монтажа и пусконаладочные работы реклоузера на объекте занимают в среднем один рабочий день.

Одними из ключевых показателей надежности являются среднее количество отключений потребителей в год SAIFI и средняя длительность отключений потребителей в год SAIDI [8].

$$SAIFI = \frac{\sum(\omega_i \cdot N_i)}{\sum N_i} \quad (1)$$

$$SAIDI = \frac{\sum(T_i \cdot N_i)}{\sum N_i} \quad (2)$$

где  $\omega_i$  — количество отключений потребителей  $i$ -го участка, определяемое по выражению (3), откл./год;

$T_i$  — время перерыва электроснабжения потребителей  $i$ -го участка, определяемое по выражению (4), ч/год;

$N_i$  — количество потребителей  $i$ -го участка, шт.;

$i$  — количество участков фидера, шт.

$$\omega_i = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{нп}}) \cdot L_i \quad (3)$$

где  $\omega_0$  — удельная частота повреждений на 100 км линии в год, откл./год;

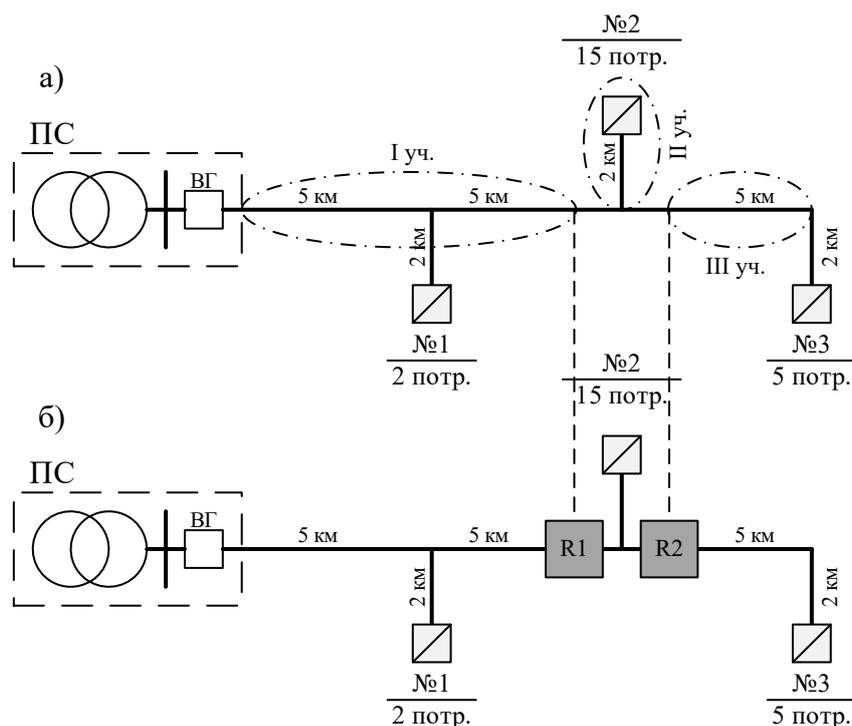
$k_{\text{нп}}$  — коэффициент, учитывающий наличие многократных АПВ на устранение неустойчивых повреждений в сети. При отсутствии АПВ принимается равным 0, при наличии однократного АПВ — 0,6, двукратного АПВ — 0,8 [4];

$L_i$  — суммарная длина  $i$ -ого участка фидера, на котором происходит отключение потребителей, км.

$$T_i = \omega_i \cdot T \cdot k_{\text{вв}} \quad (4)$$

где  $T$  — среднее время восстановления одного устойчивого повреждения, ч;  
 $k_{\text{вв}}$  — коэффициент, учитывающий влияние сокращения зоны поиска поврежденного участка за счет секционирования на общее время восстановления электроснабжения. При наличии автоматических пунктов секционирования (АПС) принимается равным 0,6 [4].

Рассмотрим пример расчета показателей надежности. Схема исходного фидера с длинами участков и количеством потребителей до и после установки реклоузеров изображена на рисунке 1а и 1б соответственно. Пусть удельная частота повреждений на 100 км линии —  $\omega_0 = 25$  откл./год. На подстанции (ПС) на головном выключателе (ВГ) имеется однократное АПВ. Среднее время восстановления одного устойчивого повреждения  $T = 6$  ч. Выясним — поможет ли секционирование на основе реклоузеров и организация двукратного АПВ повысить показатели надежности представленного на рисунке фидера.



**Рисунок 1.** Схема фидера до (а) и после установки реклоузеров (б)

В исходной схеме (рис.1а) количество отключений и время перерыва электроснабжения на всех трёх участках будут одинаковыми, т.к. длина каждого участка  $L_i$  из-за отсутствия секционирования будет равна общей длине фидера ( $L_1 + L_2 + L_3$ ):

$$\begin{aligned} \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 &= 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{вы}}) \cdot (L_1 + L_2 + L_3) = \\ &= 0,01 \cdot 25 \cdot (1 - 0,6) \cdot (12 + 2 + 7) = 2,1 \text{ откл./год} \end{aligned}$$

$$T_1 = T_2 = T_3 = \omega_{1/2/3} \cdot T \cdot k_{\text{ВВ}} = 2,1 \cdot 6 \cdot 1 = 12,6 \text{ ч/год}$$

Поскольку реклоузер выступает в роли АПС — коэффициент  $k_{\text{ВВ}} = 0,6$ , а т.к. подразумеваем организацию двукратного АПВ, то коэффициент  $k_{\text{НУ}}$  принимаем равным 0,8. Произведем расчёты для схемы после секционирования с помощью реклоузеров R1 и R2 (рис.1б):

$$\omega_1 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{НУ}}) \cdot L_1 = 0,01 \cdot 25 \cdot (1 - 0,8) \cdot 12 = 0,6 \text{ откл./год}$$

$$\omega_2 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{НУ}}) \cdot L_2 = 0,01 \cdot 25 \cdot (1 - 0,8) \cdot 2 = 0,1 \text{ откл./год}$$

$$\omega_3 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{НУ}}) \cdot L_3 = 0,01 \cdot 25 \cdot (1 - 0,8) \cdot 7 = 0,35 \text{ откл./год}$$

$$T_1 = \omega_1 \cdot T \cdot k_{\text{ВВ}} = 0,6 \cdot 6 \cdot 0,6 = 2,16 \text{ ч/год}$$

$$T_2 = \omega_2 \cdot T \cdot k_{\text{ВВ}} = 0,1 \cdot 6 \cdot 0,6 = 0,36 \text{ ч/год}$$

$$T_3 = \omega_3 \cdot T \cdot k_{\text{ВВ}} = 0,35 \cdot 6 \cdot 0,6 = 1,26 \text{ ч/год}$$

Подставив найденные величины в формулы (1) и (2), получим для исходной схемы:

$$SAIFI = \frac{\omega_1 \cdot N_1 + \omega_2 \cdot N_2 + \omega_3 \cdot N_3}{N_1 + N_2 + N_3} = \frac{2,1 \cdot 2 + 2,1 \cdot 15 + 2,1 \cdot 5}{2 + 15 + 5} = 2,1 \text{ откл./год}$$

$$SAIDI = \frac{T_1 \cdot N_1 + T_2 \cdot N_2 + T_3 \cdot N_3}{N_1 + N_2 + N_3} = \frac{12,6 \cdot 2 + 12,6 \cdot 15 + 12,6 \cdot 5}{2 + 15 + 5} = 12,6 \text{ ч/год}$$

Для фидера после установки реклоузеров и организации двукратного АПВ показатели надежности:

$$SAIFI = \frac{\omega_1 \cdot N_1 + \omega_2 \cdot N_2 + \omega_3 \cdot N_3}{N_1 + N_2 + N_3} = \frac{0,6 \cdot 2 + 0,1 \cdot 15 + 0,35 \cdot 5}{2 + 15 + 5} = 0,2 \text{ откл./год}$$

$$SAIDI = \frac{T_1 \cdot N_1 + T_2 \cdot N_2 + T_3 \cdot N_3}{N_1 + N_2 + N_3} = \frac{2,16 \cdot 2 + 0,36 \cdot 15 + 1,26 \cdot 5}{2 + 15 + 5} = 0,73 \text{ ч/год}$$

По результатам расчета отмечается значительное улучшение показателей SAIFI, SAIDI для представленной схемы. Таким образом, установка реклоузеров позволяет организовать децентрализованную систему секционирования, а также на порядок снизить среднее количество и длительность отключений потребителей без глобальной реконструкции сети.

### Список литературы

1. Гудин Данил Игоревич, Трушин Максим Дмитриевич. Повышение надежности сельских распределительных сетей с применением реклоузеров // Уникальные исследования XXI века. 2015. №12 (12). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-nadezhnosti-selskih-raspredelitelnyh-setey-s-primeneniem-reklouzerov> (дата обращения: 11.04.2021).
2. Распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 N 511-р (ред. от 29.11.2017) «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации» // «Собрание законодательства РФ», 08.04.2013, N 14, ст. 1738
3. Сазыкин Василий Георгиевич, Кудряков Александр Георгиевич, Багметов Александр Александрович. Критерии оптимизации места установки реклоузера в распределительной сети 6-10 кВ // ЭС и К. 2018. №1 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-optimizatsii-mesta-ustanovki-reklouzera-v-raspredelitelnoy-seti-6-10-kv> (дата обращения: 11.04.2021).
4. СТО 34.01-2.2-032-2017 Линейное коммутационное оборудование 6–35 кВ — секционирующие пункты (реклоузеры). Том 1.1 «Общие данные». URL: [https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp\\_standart/doc/СТО\\_34.01-2.2-032-2017\\_Том\\_1.1.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp_standart/doc/СТО_34.01-2.2-032-2017_Том_1.1.pdf) (дата обращения: 11.04.2021).
5. СТО 34.01-2.2-033-2017 Линейное коммутационное оборудование 6–35 кВ — секционирующие пункты (реклоузеры). Том 1.2 «Секционирующие пункты (реклоузеры)». URL: [https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp\\_standart/doc/СТО\\_34.01-2.2-033-2017\\_Том\\_1.2.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp_standart/doc/СТО_34.01-2.2-033-2017_Том_1.2.pdf) (дата обращения: 11.04.2021).
6. Тухбатуллина, Л. Р. Реклоузеры — надежное будущее электрических сетей / Л. Р. Тухбатуллина. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 21 (259). — С. 119-120. URL: <https://moluch.ru/archive/259/59425/> (дата обращения: 11.04.2021).
7. Хасанзянов, Б. Ф. О реклоузерах / Б. Ф. Хасанзянов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2014. — № 7 (66). — С. 188-190. URL: <https://moluch.ru/archive/66/10970/> (дата обращения: 11.04.2021).
8. Концепция «Цифровая трансформация 2030». URL: [https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya\\_Tsifrovaya\\_transformatsiya\\_2030.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf) (дата обращения: 11.04.2021).

УДК 621.31

*Гатиятуллин Ю.И.*

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

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ  
РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ  
ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ЗРУ-6кВ

г. Сургут

**Аннотация.** На сегодняшний день, как и на всех крупных предприятиях России важным показателем является качество электроснабжения и бесперебойность работы электростанций. Внеплановый останов электростанции ведет к большим финансовым потерям предприятия, выходу из строя дорогостоящего оборудования. В связи с этим большое внимание предприятия уделяют температурному контролю установленного оборудования

**Ключевые слова:** температура, оборудование, выработка электрической энергии.

*Gatijatullin Yu. I.*

Budget Institution of Higher Education of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Ugra “Surgut State University”, Surgut

ORGANIZATION OF TEMPERATURE CONTROL OF  
DETACHABLE CONNECTIONS OF HIGH-VOLTAGE  
SWITCHES ZRU-6kV

Surgut city

**Annotation.** Today, as at all large enterprises in Russia, an important indicator is the quality of electricity supply and the uninterrupted operation of power plants. Unscheduled shutdown of the power plant leads to large financial losses of the enterprise, failure of expensive equipment. In this regard, the enterprises pay great attention to the temperature control of the installed equipment

**Keywords:** temperature, equipment, electric power generation.

На газотурбинных электростанциях (далее ГТЭС) эксплуатируются закрытые распределительные устройства (далее ЗРУ) 6 кВ в количестве 20 шт. с высоковольтными выключателями 6,3 кВ.

На сегодняшний день существует проблема повышенной температуры разъемных соединений высоковольтных выключателей установленных на присоединениях генераторных ячеек, с номинальным током 1600 А. Основными причинами повышенной температуры разъемных соединений являются: повышенное переходное сопротивление, износ контактных соединений выключателя. Также отсутствует возможность контроля температуры разъемных соединений высоковольтных выключателей без вывода выключателя в ремонтное положение.

С целью организации температурного контроля разъемных соединений высоковольтных выключателей и снижения затрат на непредсказуемые аварийно-восстановительные работы в случае отказа электрооборудования, проведен анализ рынка систем температурного контроля и выбраны оптимальные системы не требующие внесения изменения в конструкцию электрооборудования, которые позволяют в круглосуточном режиме контролировать температуру непосредственно на разъемных соединениях высоковольтного выключателя.

### **Система температурного контроля Российского производства с использованием термоактивируемых газовыделяющих наклеек**

Система температурного контроля предназначена для определения перегрева элементов ЗРУ для обеспечения заданного уровня надежности при производстве, передаче и распределении электроэнергии, а также повышения пожаробезопасности объектов энергетики и эффективности их эксплуатации. Рассматриваемая система состоит из термоактивируемых газовыделяющих наклеек (далее ТГН), которые монтируются на потенциально опасное место (неподвижные и подвижные контакты высоковольтного выключателя), специализированного газового датчика (далее СГД), контрольно-приемного устройства (далее КПУ).



**Рисунок 1.** Компоненты системы

Термоактивируемые газовыделяющие наклейки (ТГН), выделяют сигнальный газ при нагреве контролируемого элемента электрооборудования выше температуры срабатывания. Специализированный газовый датчик (СГД), предназначен для обнаружения сигнального газа в контролируемом объеме и формирования тревожного извещения об обнаруженном дефекте. Контрольно-приемное устройство (КПУ), осуществляет прием тревожных извещений об обнаруженных перегревах с датчиков (СГД), отображение (индикацию) состояния объектов защиты, регистрацию событий и передачу информации в смежные системы (при помощи дополнительных модулей).

Для определения точного места перегрева при срабатывании системы ТГН содержат в своей конструкции термоиндикаторные метки, которые необратимо изменяют окраску (с белого на черный) при достижении соответствующей температуры.

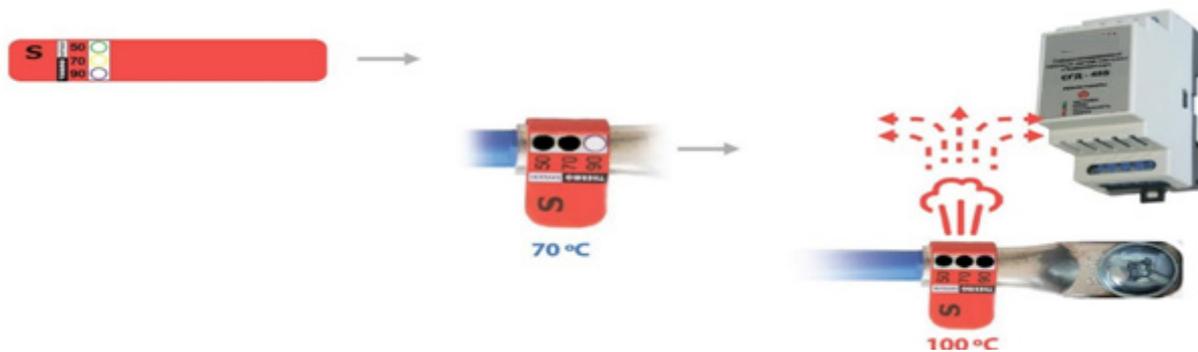


Рисунок 2. Этапы срабатывания системы

### Система температурного контроля с использованием ПАВ технологий импортного производства

Система температурного контроля состоит из температурных датчиков, передатчиков и сенсорного контрольно-приемного устройства.



Рисунок 3. Компоненты системы

Принцип действия системы основан на том, что приемопередатчик посылает электромагнитный сигнал на датчик. Антенна внутри датчика улавливает сигнал, встречноштыревой преобразователь преобразует его в поверхностную акустическую волну и отражает измененные сигналы обратно в приемопередатчик. Приемопередатчик рассчитывает, обрабатывает и преобразует сигнал в пригодные для использования данные: температуру от  $-25$  до  $150^{\circ}\text{C}$  и код самого датчика для идентификации.

Система включает в себя два алгоритма работы:

1. Сравнение температур: Поиск различий температуры между фазами;
2. Влияние температуры: Сравнение контролируемой температуры с температурой окружающей среды и определения критической температуры.

В ходе выполнения работы было проведено сравнение систем температурного контроля и выявлены достоинства и недостатки:

**Таблица 1.** Достоинства и недостатки систем

Система с использованием ПАВ технологий		Система с использованием термоактивируемых газовыделяющих наклеек	
Достоинства	Недостатки	Достоинства	Недостатки
Инновационные технологии	Стоимость	Стоимость	Замена ТГН при его срабатывании
Круглосуточный контроль температуры		Большой опыт использования в сторонних организациях	
Не требует изменения конструкции электрооборудования	Отсутствует опыт использования в сторонних организациях	Круглосуточный контроль температуры	
Отсутствует необходимость калибровки		Отсутствует необходимость калибровки	

Так же в ходе работы выполнен экономический расчет реализации систем температурного контроля и сроки окупаемости систем. Экономический расчет показал:

Затраты на реализацию системы температурного контроля с использованием термоактивируемых газовыделяющих наклеек составят — 2 278 400 руб.

Затраты на реализацию системы температурного контроля с использованием ПАВ технологий составят — 4 907 481,6 руб.

### Заключение

Исходя из полученных расчетов, можно сделать вывод, что система температурного контроля Российского производства с использованием термо-

активируемых газовыделяющих наклеек является экономически выгодным решением и имеет наименьший срок окупаемости в сравнении с системой температурного контроля импортного производства с использованием ПАВ технологий.

В заключении можно сделать следующий вывод, что реализация рассмотренных систем температурного контроля позволит:

- 1) снизить затраты на непредсказуемые аварийно-восстановительные работы в случае отказа электрооборудования;
- 2) ликвидировать проблему зависимости качества контроля технического состояния ЗРУ от человеческого фактора (ошибок персонала);
- 3) своевременно выявлять развивающиеся повреждения (аварийные дефекты) для вывода оборудования из работы до возникновения технологических нарушений;
- 4) произвести оценку текущего технического состояния элементов ЗРУ закрытого типа исполнения по результатам теплового контроля в режиме реального времени;
- 5) сформировать информативную дефектную ведомость ЗРУ с указанием узлов/элементов необходимых для проведения ревизии/замены. Соответственно снизит затраты и время на ремонтные работы;
- 6) повысит срок службы оборудования и повысит надежность электрооборудования со сверхнормативным сроком эксплуатации (решит проблему сложного долгосрочного прогнозирования скорости развития дефектов в оборудовании со сниженным ресурсом);
- 7) снизить риски аварийного повреждения оборудования;
- 8) повысит эффективность анализа причин отказов оборудования благодаря более полной информации о предаварийных состояниях по ретроспективным данным;
- 9) ограничить нагрузочную способность оборудования при выявлении дефектных узлов по нагреву до момента их устранения;
- 10) повысить электробезопасность оперативно-ремонтного (ремонтного) персонала;
- 11) снизит человеческий фактор в процессе сборки и обработки результатов контроля технического состояния ЗРУ (тепловизионных и электрических измерений);
- 12) повысить пожаробезопасность объекта;
- 13) снизить эксплуатационные расходы.

### Список литературы

1. «Объемы и нормы испытаний электрооборудования. РД 34.45-51.300-97» Шестое издание (утв. ОАО РАО «ЕЭС России» 08.05.1997) —
2. Руководство по эксплуатации 40416503-2018 версия 2.2 от 17.12.2019 «Газоаналитическая система автоматического обнаружения перегрева элементов распределительных устройств «Термосенсор» — Москва; 2019. — 73 стр.
3. Руководство по эксплуатации «Система температурного контроля SWICOM» — Москва; 2019. — 67 стр.
4. Правила устройства электроустановок. Издание 7 — Москва; 2018. — 557 стр.
5. ГОСТ 8024-90 «Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В» — Москва.; 1990 — 123 стр.
6. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей — Москва; 2003. — 162 стр.

УДК 621.31

*Трунов М.Ю.*

«Сургутский государственный университет», г. Сургут

## АНАЛИЗ БАЛАНСА АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА

г. Сургут

**Аннотация.** В подавляющем большинстве промышленных предприятий остро стоит проблема экономии электроэнергии. Одно из направлений для снижения потребления электроэнергии на предприятии это компенсация реактивной мощности. В данной статье рассматривается проблема компенсации реактивной мощности на заводе по производству каучука. Определены нагрузки на участки завода и трансформаторные подстанции как полные так и реактивные мощности. Произведен первичный анализ возможных вариантов компенсации реактивной мощности. Сделан вывод, о дальнейшем алгоритме по оптимизации компенсации реактивной мощности на предприятии.

**Ключевые слова:** *реактивная мощность, компенсация реактивной мощности, потери электроэнергии, конденсаторные установки.*

*Trunov M.Y.*

“Surgut state university”, Surgut

## ANALYSIS OF THE BALANCE OF THE ACTIVE AND REACTIVE POWER OF THE PLANT FOR THE PRODUCTION OF SYNTHETIC RUBBER

Surgut

**Abstract.** In the overwhelming majority of industrial enterprises, the problem of energy saving is acute. One of the ways to reduce electricity consumption at the enterprise is reactive power compensation. This article deals with the problem of reactive power compensation at a rubber plant. The loads on the plant sites and transformer substations, both full and reactive power, have been determined. A primary analysis of possible options for reactive power compensation has been carried out. The conclu-

sion is made about the further algorithm for optimization of reactive power compensation at the enterprise.

**Key words:** *reactive power, reactive power compensation, power losses, capacitor banks.*

На большинстве промышленных предприятий остро стоит проблема экономии электроэнергии и оптимального использования её. Одно из направлений позволяющих снизить потребление электроэнергии, а также увеличить пропускную способность и уменьшить нагрузку на питающую сеть и трансформаторные подстанции это рациональная компенсация реактивной мощности.[5] Основные потребители реактивной мощности на предприятии это асинхронные двигатели и трансформаторы большой мощности.[4]

Существуют 4 способа компенсации реактивной мощности на предприятии: индивидуальная, групповая, централизованная и комбинированная.[2] При индивидуальной установке конденсаторной батареи происходит компенсация реактивной мощности потребителя и разгрузка сети от перетоков, но при отключении потребителя конденсаторная батарея также простаивает. При групповой компенсации к батарее конденсаторов подключается несколько потребителей электроэнергии, при этом конденсаторные установки работают более полное время, но не разгружают сеть от потребителей до мест установки конденсаторных батарей. Централизованный способ установки на стороне низшего 0,4 кВ или высшего напряжения 6(10) кВ позволяет использовать наиболее полную установку, но не избавляет сеть потребителей от потоков реактивной мощности. Четвертый способ, комбинированный, сочетает в себе индивидуальную компенсацию реактивной мощности с групповой или централизованной, для достижения оптимальных показателей компенсации реактивной мощности и затрат на установку конденсаторов.[1]

С этой целью был рассмотрен завод по производству синтетического каучука. Для завода характерна высокая двигательная нагрузка как низковольтными, так и высоковольтными асинхронными и синхронными двигателями. Электроснабжение завода осуществляется по двум линиям электропередач. От главной понижающей подстанции (ГПП 2) происходит распределение электроэнергии по цеховым участкам и трансформаторным подстанциям.

Общее количество трансформаторных подстанций 0,4 кВ на предприятии 65, к которым подключено 1180 асинхронных двигателей.

Основываясь на паспортных данных на электродвигатели, подключенные к трансформаторным подстанциям по формуле  $Q_{дв} = P_{дв} \cdot \operatorname{tg}\varphi$  найдем реактивную мощность потребляемую двигателями на стороне шин 0,4 кВ, где  $P_{дв}$  — активная мощность двигателей,  $\operatorname{tg}\varphi$  — коэффициент показывающий соотношение

между реактивной и активной мощностью двигателей. Также не стоит упускать, что линии электропередач вызывают потери как активной, так и реактивной мощности, которые можно вычислить по формулам:

$$\Delta P_{\text{кл}} = \frac{S_{\text{дв}}^2 \cdot L \cdot R_0}{U_{\text{н}}^2}, \Delta Q_{\text{кл}} = \frac{S_{\text{дв}}^2 \cdot L \cdot X_0}{U_{\text{н}}^2},$$

где  $\Delta P_{\text{кл}}$  — потери активной мощности кабельной линии (кВт),  $\Delta Q_{\text{кл}}$  — потери реактивной мощности кабельной линии (квар),  $U_{\text{н}}$  — номинальное напряжение кабельной линии (кВ),  $L$  — длина кабельной линии (км),  $R_0$  и  $X_0$  — погонное активное и соответственно индуктивное сопротивление кабельной линии (Ом/км).

Количество трансформаторных подстанций, а также средние показатели полной, активной и реактивной мощности, а также коэффициент активной мощности представлен в таблице (Табл. 1).

**Таблица 1.** Показатели мощностей трансформаторных подстанций на предприятии

Мощность трансформаторной подстанции, кВ·А	Кол-во трансформаторных подстанций	Полная мощность на шине 0,4 кВ, кВ·А	Активная мощность на шине 0,4 кВ, кВт	Реактивная мощность на шине 0,4 кВ, квар	Коэффициент активной мощности, cosφ
250	1	202,16	154,98	129,81	0,77
560	5	406,38	329,74	237,39	0,81
630	2	511	400,52	317,34	0,78
750	8	650,29	499,43	408,05	0,77
1000	44	826,51	647,62	508,39	0,79
1600	5	1279,16	1034,60	748,35	0,81

В таблице (Табл. 2) представлены полная и реактивная мощность по участкам, суммарно потребляемая высоковольтными двигателями по участкам сети, а также суммарная полная и реактивная мощность трансформаторных подстанций подключенных к участкам.

**Таблица 2.** Активная и реактивная, полная мощность по участкам предприятия

Участок предприятия	$S_{\text{д}}$ , кВ·А	$Q_{\text{д}}$ , квар	$S_{\text{тп}}$ , кВ·А	$Q_{\text{тп}}$ , квар	$Q_{\text{магтп}}$ , квар
У 4 1 с.ш.	1257,47	345,93	3309,43	1203,96	2151,44
У 23 1 с.ш.	374,12	223,54	727,53	199,20	281,03
У 7 РМЦ	0,00	0,00	406,90	211,49	237,98
У 27 1 с.ш.	7927,25	6442,02	6271,72	1170,80	3859,7

У 52 2 с.ш.	10756,04	6007,33	720,13	242,93	295,98
У 42 3 с.ш.	24915,55	11817,80	2739,74	787,40	1769,66
У 39 1 с.ш.	7960,51	4296,87	8673,37	2508,77	5258,51
У 13 2 с.ш.	6017,14	5444,32	1990,72	619,15	1052,88
У 39 2 с.ш.	301,38	168,31	6736,27	1628,84	4157,89
У 42 2 с.ш.	5963,10	3343,98	1740,88	750,14	1081,27
У 23 2 с.ш.	1262,67	885,62	840,94	176,20	498,22
У 27 3 с.ш.	15635,22	13214,79	6167,89	2451,73	4036,45
У 17 3 с.ш.	7794,23	4159,14	2513,85	798,05	1497,45
У 13 1с.ш.	5462,20	5119,56	2204,31	641,69	1417,16
У 52 1 с.ш.	11656,01	5413,00	850,28	347,29	594,63
У 42 1 с.ш.	8480,12	4123,18	2115,25	667,43	1261,34
У 4 2 с.ш.	1236,68	652,87	3211,26	971,09	1868,3

$S_d$  — полная мощность на шинах участка потребляемая высоковольтными двигателями, кВ·А

$Q_d$  — суммарная реактивная мощность потребляемая высоковольтными двигателям, квар

$S_{тп}$  — полная потребляемая мощность трансформаторной подстанции, кВ·А

$Q_{тп}$  — реактивная мощность которую могут передать трансформаторные подстанции на шину высшего напряжения, квар

$Q_{мактп}$  — реактивная мощность, потребляемая на шинах низшего напряжения трансформаторных подстанций, квар

Из таблицы (Табл. 2) мы видим, что суммарная потребляемая мощность высоковольтными двигателями, более чем в два раза выше, чем мощность, потребляемая двигателями на трансформаторных подстанциях.

Из полученных данных видно, что централизованная компенсация реактивной мощности на шинах главной понижающей подстанции не целесообразна, из-за того что мощность реактивной и активной нагрузки на подстанциях превышает пропускную способность трансформаторов. Из чего следует необходимость частичной или полной компенсации реактивной мощности на шинах низшего напряжения.

При частичной групповой компенсации снижаются перетоки на шинах высокого напряжения от трансформаторных подстанций до шин 6 кВ, но остается высокая нагрузка на подстанции. При полной групповой или индивидуальной компенсации на шинах низшего напряжения, полностью снижаются нагрузки на шины высшего напряжения от трансформаторных подстанций, при этом увеличиваются расходы на установку компенсаторов реактивной мощности, при том при групповой компенсации остается нагрузка на сети от трансформаторной подстанции до потребителей. Возможен вариант комбинированной частичной групповой компенсации маломощных потребителей и индивидуальной компенсации потребителей с высокой нагрузкой, что может быть самым оптимальным в некоторых случаях.

Также как для шин низшего напряжения на трансформаторных подстанциях, компенсация реактивной мощности на шинах высокого напряжения возможна в трех вариантах: полная групповая на шинах высокого напряжения, индивидуальная и комбинированная из групповой и индивидуальной компенсации.

Для снижения потоков реактивной мощности в сети устанавливаются устройства компенсации реактивной мощности. Наибольшее распространение на промышленных предприятия получили установки батарей статических конденсаторов. [6] Существуют 3 вида компенсаторов на конденсаторных батареях. Первый это соответственно батареи статических конденсаторов неуправляемые включаемые в сеть параллельно соединенные треугольником, простые в использовании и монтаже, недорогая стоимость по сравнению с другими видами батарей. Для ее установки необходимо оптимально определить какую величину перетоков реактивной мощности необходимо компенсировать в сети. Второй это тиристорно управляемые батареи статических конденсаторов, состоящие из нескольких батарей статических конденсаторов собранных в сборки с коэффициентом емкости в соотношении 1:2:4:8. Такой вариант дает 15 ступеней регулирования от 7% от максимальной емкости до 100% с шагом в 7%. Такие компенсаторы стоят дороже и имеют более сложное устройство из-за систем мониторинга и блоков управления, но позволяют производить более плавное регулирование и компенсацию перетоков реактивной мощности в сети. И третий вариант это батареи статических конденсаторов на IGBT транзисторах. Конструктивно имеет такое же устройство как тиристорно управляемые компенсаторы с главным отличием в использовании в качестве коммутирующих элементов не тиристоры, а IGBT транзисторы. Так как транзистор является полностью управляемым, и его можно открывать и закрывать в любой момент времени, а также он обладает очень малым временем переключения. Это дает возможность включать его в момент перехода тока через ноль, а также включать, когда остаточное напряжение на батарее и в сети будут равны. [7]

Выбор мест установки и мощности компенсирующих устройств на сегодняшний день является сложной технико-экономической задачей, которая позволит снизить нагрузку на питающие линии, трансформаторные подстанции, уменьшить потери электроэнергии. Которую возможно решить путем углубленно математического анализа, а также построением компьютерной модели электропитания завода и решением задач многокритериальной оптимизации. [3]

### Список литературы

1. А.В. Воронцов, Джураев Э.Э., Харенко В.Н. Исследование компенсации реактивной мощности на трансформаторных подстанциях угледобываю-

- щих предприятий // Проблемы и перспективы реализации междисциплинарных исследований сб. ст. междунар. науч.-практич. конф. (03 июля 2019 г.) г Стерлитамак С. 59 — 62
2. В.В. Карагодин, Д.В. Рыбаков Оптимизация размещения устройств компенсации реактивной мощности в распределительных электрических сетях // Вопросы электромеханики Т.144, 2015 С. 43 — 50
  3. В.М. Ефременко, Р.В. Беляевский, Н.В. Пономарев Выбор оптимальных способов компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий. Электротехнические комплексы и системы
  4. Б.А. Константинов, Г.З. Зайцев Компенсация реактивной мощности Л., «Энергия», 1976 104 С.
  5. А. В. Кузнецов, И. В. Аргентова, М. И. Буянкин, Н. В. Даскал Оценка снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя // УлГТУ, Ульяновск с 260 — 265
  6. Малюк Е.Г. Реактивная мощность и особенности компенсации реактивной мощности в сетях жилищно — коммунального сектора // Энергетические установки и технологии, 2017 Т.3, № 1 С. 57 — 62
  7. А.Е. Тулебаев, Л.А. Садыкова Исследование эффективности работы установки компенсации реактивной мощности элементов системы электропитания // Западно-Казахстанский агро-технический университет им. Жангир хана г. Уральск, Казахстан

УДК 62-83

*Мезенцева А.В.*

Нижевартовский государственный университет, г. Нижневартовск

## СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ПОДАЧИ НАСОСА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

г. Нижневартовск

**Аннотация.** Проводится исследование электрического способа процесса регулирования подачи механизмов центробежного типов и сравнение его с механическим, посредством введения в нагнетающую магистраль различных заслонок, в ходе которого установлено, что способ регулирования в системе электрического привода создает широкие возможности автоматизации и является наиболее оптимальным с точки зрения энергоэффективности.

**Ключевые слова:** *двигатель, центробежный механизм, способ регулирования, подача задвижкой, напор, электрический привод, потери мощности.*

*Mezentseva A.M.*

Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk

## REDUCTION OF POWER LOSSES WHEN REGULATING THE PUMP SUPPLY BY ELECTRIC MEANS

Nizhnevartovsk

**Abstract.** The study of the electric method of the process of regulating the supply of centrifugal mechanisms is carried out and its comparison with the mechanical one, by introducing various dampers into the discharge line, during which it is established that the control method in the electric drive system creates wide automation opportunities and is the most optimal from the point of view of energy efficiency.

**Keywords:** *motor, centrifugal mechanism, control method, valve feed, head, electric drive, power loss.*

Одним из наиболее эффективных способов регулирования подачи механизмов с вентиляторным моментом на валу является изменение скорости в системе регулируемого электрического привода. Для центробежных механизмов используют электропривод с асинхронными двигателями, в котором используются методы параметрического регулирования или каскадные схемы включения [1].

В первом случае энергия скольжения рассеивается в виде тепла в двигателе и дополнительных регулировочных резисторах, во втором — энергия скольжения главного приводного двигателя направляется на главный ведущий вал с помощью преобразующих машин или возвращается в сеть [2].

Для того чтобы оценить возможности энергосберегающего режима при регулировании нужно проанализировать и задать работу двигателя в установившемся режиме работы таким, чтобы при заданном моменте нагрузки и заданной скорости ротора получить условия, при которых обеспечивается минимум потерь в двигателе [5].

Экономичность электрического привода оценивается потерями мощности при регулировании производительности механизма [3]. Потери мощности можно определить как:

$$\Delta P = P_{12} - P_2. \quad (1)$$

где  $P_{12}$  — мощность, потребляемая двигателем из сети, кВт:

$$P_{12} = \frac{P_2}{(1-s)} = \frac{\omega_0}{\omega} P_2, \quad (2)$$

$P_2$  — мощность на валу двигателя, кВт.

Из мощности, потребляемой двигателем из сети (2), выразим мощность на валу двигателя  $P_2$ , необходимую для работы механизма с вентиляторной характеристикой, используя формулы пропорциональности [6]:

$$P_2 = \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^3 P_{2H}. \quad (3)$$

Получим выражение:

$$P_{12} = \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^3 \frac{\omega_0}{\omega} P_{2H} = \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2 \frac{\omega_0}{\omega_H} P_{2H}. \quad (4)$$

Подставив выражения (3) и (4) в исходное уравнение (1), получим:

$$\Delta P = \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2 \frac{\omega_0}{\omega_H} P_{2H} - \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^3 P_{2H}. \quad (5)$$

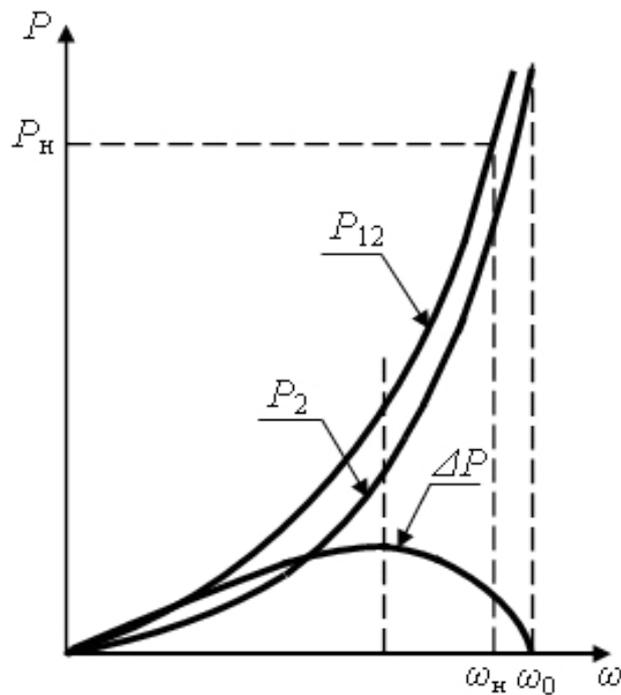
Определим максимальные потери в роторной цепи электродвигателя при регулировании скорости. Для этого возьмем производную по скорости в (5) и приравняем ее к нулю:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{d\omega} \Delta P &= 2\omega \frac{\omega_0}{\omega_H^3} P_{2H} - \frac{3\omega^2}{\omega_H^3} P_{2H} = 0; \\ (2\omega_0 - 3\omega) \frac{\omega_0}{\omega_H^3} P_{2H} &= 0; \omega_{max} = \frac{2}{3} \omega_0, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

откуда

$$\Delta P_{max} = \frac{4}{9} \left( \frac{\omega_0}{\omega_H} \right)^3 P_{2H} - \frac{8}{27} \left( \frac{\omega_0}{\omega_H} \right)^3 P_{2H} = \frac{4}{27} \left( \frac{\omega_0}{\omega_H} \right)^3 P_{2H}. \quad (7)$$

В соответствии с выражениями (3), (4) и (5) на рисунке 1 построены зависимости  $P_{12}$ ,  $P_2$  и  $\Delta P$  от  $\omega$ .



**Рисунок 1.** Зависимости  $P_{12}$ ,  $P_2$ ,  $\Delta P=f(\omega)$  при регулировании скорости двигателя

Из рисунка 1 видно, что максимум потерь составляет примерно  $(0,15 \div 0,17) P_2$  мощности на валу и соответствует скорости 67% от синхронной.

В реализации регулирования подачи наиболее простым является способ дросселирования посредством введения в нагнетающую магистраль различных заслонок. Этот способ основан на изменении результирующего сопротивления магистрали [4]. График характеристик насоса и магистрали приведен на рисунке 2.

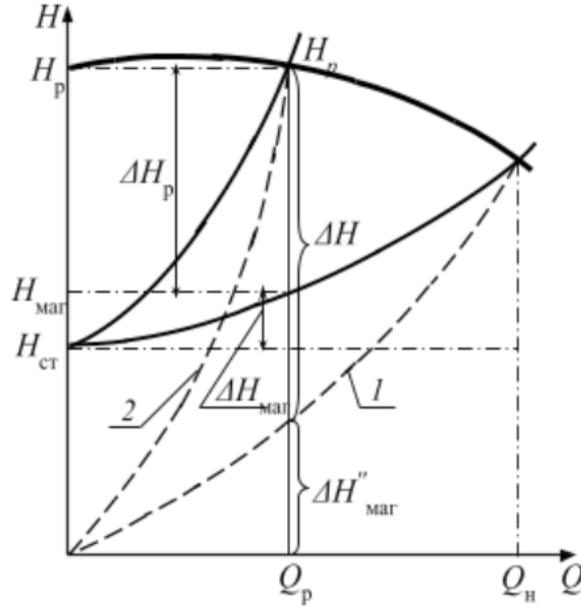


Рисунок 2.  $Q$ - $H$ -характеристики при регулировании подачи задвижкой

При изменении скорости рабочая точка механизма перемещается по  $Q$ - $H$ -характеристике до точки пересечения  $H_1$  с новой характеристикой магистрали в сторону снижения подачи. Часть напора  $\Delta H_p$  на результирующем устройстве при этом теряется. Для оценки КПД данного способа регулирования  $\eta_{\text{м.с.}}$  примем, что КПД механизма и электродвигателя при изменении подачи остается неизменным. Тогда

$$\eta_{\text{м.с.}} = \frac{H_{\text{маг}} Q_p}{(H_{\text{маг}} + \Delta H_p) Q_p} = \frac{H_{\text{ст}}}{H_p} + \frac{\Delta H_{\text{маг}}}{H_p}, \quad (8)$$

где  $H_{\text{маг}}$  — напор, создаваемый механизмом после регулирующего органа;

$H_p = H_1$  — напор в магистрали перед регулирующим органом;

$\Delta H_p, \Delta H_{\text{маг}}$  — потери напора в магистрали;

$H_{\text{ст}}$  — статический напор;

$Q_p = Q_1$  — подача механизма совместно с регулирующим органом.

Из (8) и рисунка 2 следует, что при использовании данного способа регулирования КПД тем ниже, чем меньше статический напор  $H_{\text{ст}}$ .

При  $H_{\text{ст}} = 0$  получаем:

$$\eta_{\text{м.с.}} = \frac{\Delta H'_{\text{маг}}}{H_p} = \frac{H_n}{H_p} \left( \frac{Q_1}{Q_n} \right)^2 < \left( \frac{Q_p}{Q_n} \right)^2, \quad (9)$$

где  $H_n, Q_n$  — номинальные значения напора и подачи механизма.

Из (9) при  $H_{\text{ст}} = 0$  следует, что КПД снижается квадратично от диапазона регулирования подачи.

Определим потери мощности при  $H_{\text{ст}}=0$  и регулировании производительности задвижкой. На рисунке 2 характеристика 1 соответствует случаю отсутствия на магистрали дополнительного сопротивления, а характеристика 2 — увеличению сопротивления магистрали и снижению подачи до уровня  $Q_1$ . При этом в магистрали на задвижке создается перепад напора:

$$\Delta H = H_p - \Delta H'_{\text{маг}}, \quad (10)$$

и потеря мощности:

$$\Delta P_{\text{зад}} = cQ_1 \Delta H = cQ_1 (H_p - \Delta H'_{\text{маг}}). \quad (11)$$

С учетом того, что характеристики 1 и 2 являются параболой можно записать:

$$\Delta H'_{\text{маг}} = H_n \left( \frac{Q_1}{Q_n} \right)^2. \quad (12)$$

Тогда получим:

$$\Delta P_{\text{зад}} = cQ_1 H_n \left[ \frac{H_p}{H_n} - \left( \frac{Q_1}{Q_n} \right)^2 \right]. \quad (13)$$

Если для упрощения принять  $H_p \approx H_n$  и ввести обозначение  $Q_1/Q_n = q$  и с учетом формул пропорциональности для мощности, получим:

$$\Delta P_{\text{зад}} = (1 - q^2)qP_n. \quad (14)$$

Из данного выражения следует, что зависимость  $\Delta P_{\text{зад}}(q)$  имеет максимум:

$$\frac{d}{dq} \Delta P_{\text{зад}} = (1 - 3q^2) = 0, \quad (15)$$

откуда

$$q_{\text{max}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,576. \quad (16)$$

Тогда максимальные потери при регулировании подачи задвижкой

$$\Delta P_{\text{зад,max}} = \frac{2}{3\sqrt{3}} P_n = 0,385 P_n. \quad (17)$$

Сравнение (7) с полученным результатом (17) показывает, что регулирование изменением скорости при наличии потерь скольжения приводит к уменьшению

максимума потерь мощности более, чем в 2 раза по сравнению с регулированием подачи задвижкой. Регулирование подачи задвижкой (дрессельное регулирование) целесообразно применять только в установках мощностью в несколько киловатт при небольшом диапазоне и плавности регулирования.

Таким образом, электрический способ создает широкие возможности автоматизации процесса регулирования подачи механизмов центробежного типов и является наиболее оптимальным, так как исключает механические регулирующие устройства и снижает потери мощности при регулировании производительности механизма.

### Список литературы

1. Бурулько Л.К., Дементьев Ю.Н. Электрооборудование промышленности. Электроприводы промышленных механизмов и устройств: учебное пособие / Л.К. Бурулько, Ю.Н. Дементьев, Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. — 180 с.
2. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов / В.И. Ключев, В.М. Терехов — М.: Энергия, 1980.—360 с.
3. Краснов И.Ю. Методы и средства энергосбережения на промышленных предприятиях: учебное пособие / И.Ю. Краснов, Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. — 186 с.
4. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. 2-е изд., перераб. и доп. / А.А. Ломакин — М.-Л.: Машиностроение, 2017. — 364 с.
5. Мезенцева А.В., Шалимов М.С. Анализ условий эффективной работы электропривода в системе управления асинхронным двигателем // Энерго- и ресурсосбережение — XXI ВЕК. Материалы XV международной научно-практической интернет-конференции. — 2017. — С. 49-52.
6. Фащиленко В.Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий: Учеб. пособие / В.Н. Фащиленко — М.: Издательство «Горная книга», 2011. — 260. с.

УДК 621.311

*Стрельникова И.А., Курпита Д.В.*

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

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

г. Сургут

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены основные виды альтернативной энергетики. Такие как солнечная энергетика, ветровая энергетика, гидроэнергетика и геотермальная энергетика. Также представлено их краткое описание, принцип работы и где они применяются. По каждому виду проанализированы достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** *альтернативные источники электроэнергии, электроэнергетика, солнечная энергия, ветровая энергия, гидроэнергетика, геотермальная энергетика, нетрадиционные источники электроэнергии.*

*Strelnikova I.A., Kurpita D.V.*

Surgut State University, Surgut

## ALTERNATIVE ENERGY

Surgut

**Abstract.** This article discusses the main types of alternative energy. Such as solar energy, wind energy, hydropower and geothermal energy. They also provide a brief description, how they work and where they are applied. Advantages and disadvantages were analyzed for each species.

**Keywords:** *alternative energy, power generation, solar energy, wind energy, hydropower, geothermal energy.*

**Альтернативная энергетика** — совокупность перспективных способов получения энергии, которые менее распространены, нежели традиционные (уголь, нефть, газ), однако представляют интерес из-за выгоды их использования при низком риске причинения вреда экологии [4]. Из-за сжигания полезных ископаемых, которые образуют выбросы различных газов, происходят ощутимые изменения климата — ураганы, аномально жаркая или холодная погода, дли-

тельные засухи, смерчи, торнадо и пр. И, вероятно, единственным способом предотвратить еще большие изменения является плавный переход на возобновляемые источники энергии.

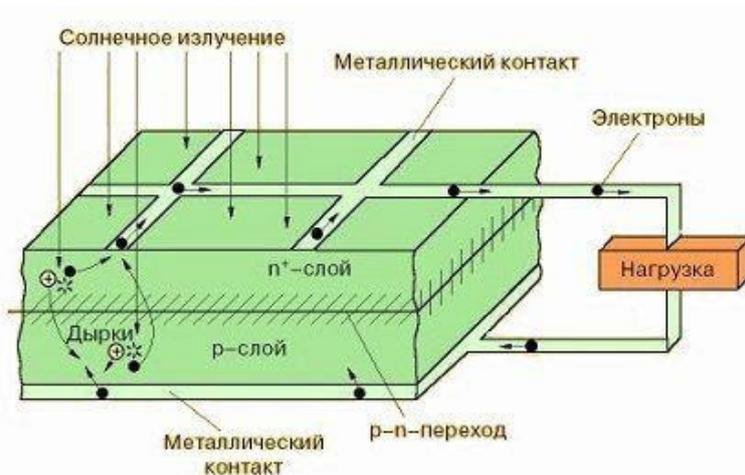
Еще одним не менее важным фактором использования альтернативных источников является то, что природные ископаемые являются невозполнимыми ресурсами, и однажды все месторождения полностью себя исчерпают.

**Альтернативные источники энергии** — это устройства, которые позволяют производить электроэнергию, заменяя при этом традиционные источники электрической энергии. В основном их делят на:

- солнечная энергетика;
- ветровая энергетика;
- гидроэнергетика;
- геотермальная энергетика.

### Солнечная энергетика

В данном виде энергетике для преобразования энергии светового потока в электроэнергию применяют ФЭП (рисунок 1) — так называемые фотоэлектрические преобразователи[1]. Для преобразования энергии солнца в тепловую, далее в механическую и в конце в электрическую энергию используют термодинамические установки.



**Рисунок 1.** Устройство фотоэлектрического преобразователя

Главным достоинством такого вида источника является абсолютное отсутствие вреда экологии. Но есть и существенный минус — солнечный свет зависит от времени суток, сезонности, погодных условий и пр., что вносит большую неравномерность в вырабатываемую мощность в определённые промежутки вре-

мени. Поэтому такая система обязывает дополнительно иметь аккумуляторные установки, что сильно увеличивает стоимость произведенного кВт/ч.

## Ветровая энергетика

Ветровые установки (рисунок 2) преобразуют кинетическую энергию ветровых потоков в электроэнергию благодаря различным конструкциям (многолопастные «ромашки»; винты вроде самолетных пропеллеров; вертикальные роторы и др.)[2].

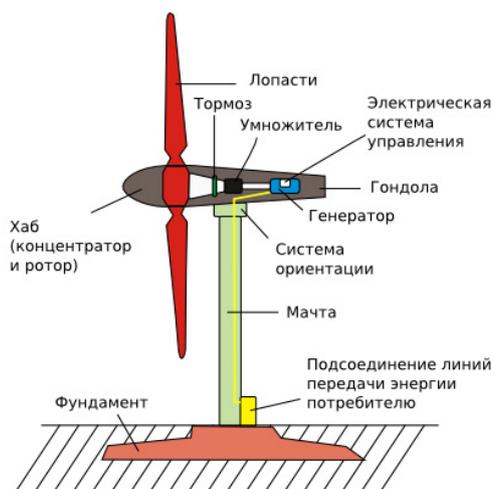


Рисунок 2. Устройство ветрогенератора

Данная система является одним из наиболее недорогих видов возобновляемых источников энергии, что является его плюсом. Из недостатков — малая мощность, ощутимый шум, они являются помехами для радиоволн, для воздушного сообщения и для перелётных птиц, которые гибнут, попадая в лопасти. Также для того, чтобы применять такие установки, требуются площади гораздо больше, нежели для других видов источников электроэнергии.

## Гидроэнергетика

Гидроэнергетику можно поделить на несколько видов:

- работа происходит за счёт естественного течения рек (ГЭС в уменьшенной версии);
- работа происходит за счёт морских и океанических приливов (волновая энергетика) — такой типа гидроэнергетики с точки зрения экономики рекомендуется применять в местностях, где приливные колебания уровня моря достигают как минимум 4 метра;

- работа происходит за счёт снятия «пены на гребне волны» (данный вид пока ещё только на стадии испытаний и широко не применяются).

Достоинствами такого вида альтернативной энергетики являются относительно высокая экологичность, большая удельная мощность по сравнению с ветровой и солнечной энергетикой (т.е. можно не опасаться нехватки электроэнергии), а также данный тип является возобновляемым.

К недостаткам можно отнести ограниченность в зоне установки электростанций (только на берегу рек/морей/океанов), высокая стоимость электрооборудования, а также, несмотря на высокую экологичность, но данный тип энергетики всё же вносит изменения в климат (например, меняет скорость течения воды, её направление и т.д.)[3].

### Геотермальная энергетика

**Геотермальная энергетика** — это один из видов нетрадиционной энергетики, в котором производят электроэнергию с помощью преобразования энергии горячих пароводяных источников (температура грунтов на глубине от 2 км составляет более 100°C).

Для добычи электроэнергии на геотермальных электроустановках используют три схемы:

- прямая схема — природный пар направляется по трубам в турбины, соединенные с электрогенераторами (рисунок 3);
- непрямая схема — до попадания в турбины пар проходит очищение от разрушающих трубы газов (рисунок 4);
- смешанная схема — неочищенный пар поступает в турбины, а затем из воды, образовавшийся в результате конденсации, удаляют не растворившиеся в ней газы (рисунок 5).

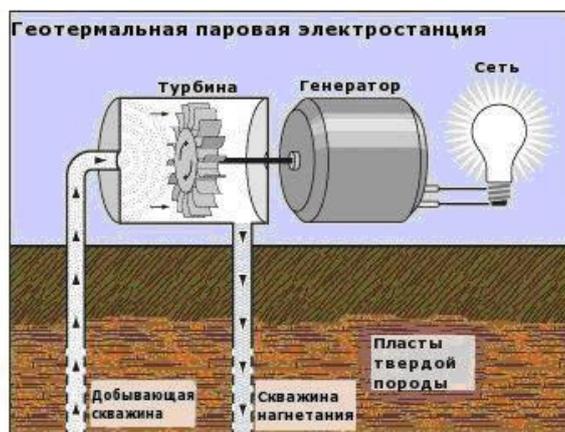


Рисунок 3. Геотермальная электроустановка с прямой схемой

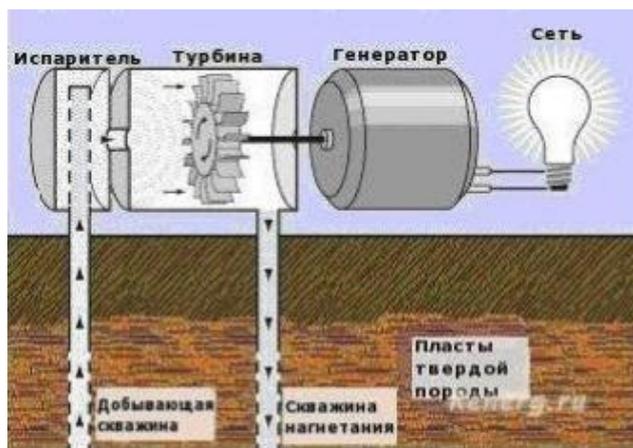


Рисунок 4. Геотермальная электростанция с непрямой схемой

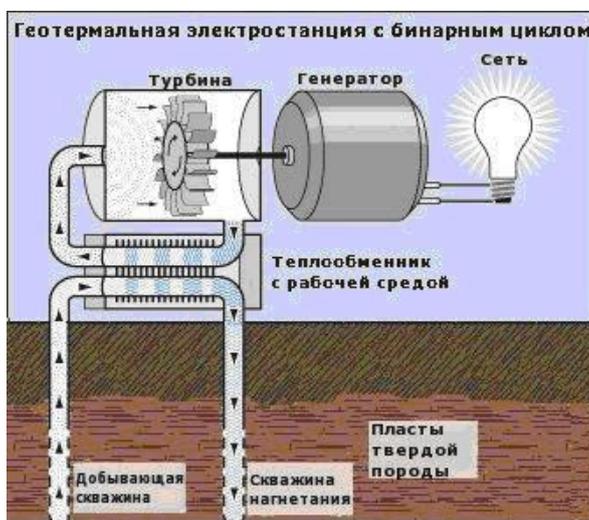


Рисунок 5. Геотермальная электростанция со смешанной схемой

Плюсы данного вида энергетики: сравнительно невысокая стоимость «топлива» и самой электростанции (т.к. в ней не устанавливаются котельные установки и дымовые трубы). К минусам следует отнести ограниченность зоны установки (должны быть соблюдены определённые геологические условия), возможное содержание ядовитых веществ в газах (выходящих из-под земли), а также возможное оседание грунта и активизация сейсмической активности.

### Неосновные виды альтернативной энергетики

К неосновным типам альтернативной электроэнергетики можно также отнести биотопливо, градиент-температурную энергетику и эффект запоминания формы [4].

К числу известных на сегодня видов биотоплива относят:

- топливные пеллеты и брикеты;
- биоэтанол, биобензин и биодизель;
- биогаз.

Градиент-температурная энергетика основана на разности температур. Этот тип практически не применяется. Его преимущество — выработка большого количества электроэнергии при относительно небольшой себестоимости её производства.

Эффект запоминания формы — физическое явление, впервые обнаруженное советскими учеными Курдюмовым и Хондросом в 1949 году. Основным недостатком эффекта восстановления формы является низкий КПД — всего 5-6 процентов.

### Список литературы

1. Сухов Ф.И., Сидоров Ю.П., Попов В.Г., Боровков Ю.Н., Тимошенкова. Альтернативные источники энергии: учебник, 2020. 47 с.
2. Сухов Ф.И., Сидоров Ю.П., Попов В.Г., Боровков Ю.Н., Тимошенкова. Альтернативные источники энергии: учебник, 2020. 104 с.
3. Альтернативные источники энергии: почему они нужны всем // Прайм: агенство экономической информации. 2019. URL: <https://1prime.ru/energy/20191219/830706934.html>(дата обращения: 12.04.2021).
4. Виды альтернативной энергетике // РИА новости (электр. газета). 2009. URL:<https://ria.ru/20091113/193404769.html> (дата обращения: 12.04.2021)

УДК 621.31

*Ермакова Е.Н.*

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

## ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

г. Сургут

**Аннотация.** Надежность электроснабжения является ключевым фактором, влияющим на качество жизни населения страны. Гарантировать надежность электроснабжения может только централизованное электроснабжение, которое нет возможности организовать на быстроразвивающихся отдаленных и труднодоступных территориях. В данной статье рассматриваем внедрение торфяных электростанций в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре.

**Ключевые слова:** *показатели надежности, децентрализованное электроснабжение, удаленные потребители.*

*Ermakova E.N.*

Surgut State University, Surgut

## POWER SUPPLY FOR REMOTE CONSUMERS

Surgut

**Abstract.** The reliability of electricity supply is a key factor affecting the quality of life of the country's population. Only centralized power supply can guarantee the reliability of power supply, which is not possible to organize in rapidly developing remote and hard-to-reach areas. In this article, we consider the introduction of peat power plants in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Ugra.

**Keywords:** *reliability indicators, decentralized power supply, remote consumers.*

Российская Федерация взяла направление на максимальное эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для повышения качества жизни населения страны, устойчивого роста экономики, а также укрепление внешнеэкономических позиций. В соответствии с федеральным законом №261 об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности [2] и с госпрограммой «Развитие энергетики» до 2024 года

[3], а также в соответствии с программой развития электроэнергетики Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2025 года, утвержденной Губернатором Ханты-Мансийского автономного округа — Югры Н.В. Комаровой[1].

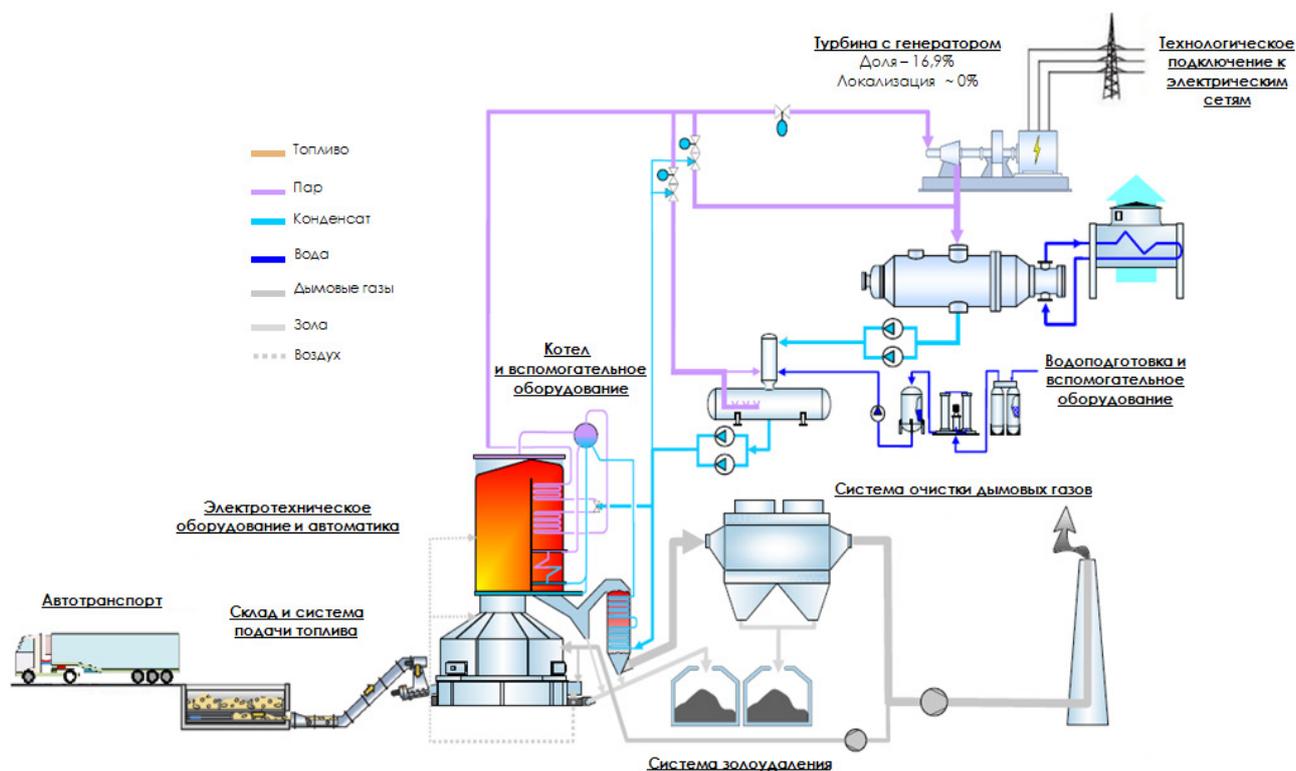


Рисунок 1. Схема установки БИО-ТЭС

Первым делом автотранспорт доставляет топливо до склада типа «живое дно» (подвижный пол), который расположен на площадке ТЭС. Далее из склада топливо поступает в паровой котле работающий по технологии сжигания в кипящем слое.

При помощи питательного насоса к котлу подводится питательная вода под большим давлением, топливо и атмосферный воздух для горения. В топке химическая энергия топлива в процессе горения превращается в лучистую и тепловую энергию. Внутри котла расположена трубная система по которой протекает питательная вода. Вода в трубной системе нагревается и в дальнейшем испаряется после соприкосновения с горящим топливом, которое является мощным источником теплоты. Далее пар, нагретый до 440°С с давлением 40 бар, по трубопроводам попадает в паровую турбину.

Турбоагрегат состоит в целом из паровой турбины, электрогенератора и возбуждателя. Пар в паровой турбины расширяется до давления, которое меньше атмосферного примерно в 20 раз, далее потенциальная энергия сильно пе-

регретого и сжатого пара превращается в кинетическую энергию вращения ротора турбины. Электрогенератор преобразует кинетическую энергию, полученный в турбине, в электрический ток по средствам вращения ротора генератора. Электрогенератор состоит из ротора, представляющего собой вращающийся электромагнит, питание которого осуществляется от возбудителя и статора, который в электрических обмотках генерирует ток.

Конденсацию пара, поступающего из турбины, осуществляет конденсатор, он создает глубокое разрежение, благодаря которому и происходит расширение пара в турбине. Благодаря конденсатору, потенциальная энергия превращается в механическую энергию, за счет того, что пар расширяется при передвижении из турбины, в которой пар с высоким давлением в конденсатор, где создан вакуум.

Из-за особенности данного технологического процесса электростанция и получила свое название, конденсационной электростанции.

Полученный конденсат пара поступает на деаэрационную установку, где восполняются потери конденсата химически подготовленной водой. С деаэратора вода снова поступает в котел при помощи питательных насосов.

Дымосос отводит в дымовую трубу газообразные продукты сгорания из котла, но предварительно очищаясь в системе газоочистки от золы и других твердых частиц. Зола из топки котла и системы газоочистки поступает в бункер, из которого потом вывозят автотранспортом.

Вопрос об использовании возобновляемых источников энергии в качестве источника энергии становится все острее, потому что потребности в электроэнергии неумолимо растут. Цены на уголь, нефть и газ растут с каждым днем, из-за исчерпаемости данных ресурсов и их труднодоступности. Так же не для всех регионов экономически выгодно использовать возобновляемые источники энергии, такие как энергия солнца, ветра, воды и т.д. Я считаю, что для Ханты-Мансийского автономного округа, где около 35% площади занимает торф, оправдано использование торфяных электростанций.

### Список литературы

1. Схема и программа развития электроэнергетики Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2025 года. — 26 с. [Электронный ресурс]. — URL: <https://depjkkе.admhmao.ru/deyatelnost/energetika/elektroenergetika/ob-utverzhdennii-skhemu-i-programmy-razvitiya-elektroenergetiki-khanty-mansiyskogo-avtonomnogo-okruga/sipr-na-period-do-2025-goda/4529508/skhemu-i-programmu-razvitiya-elektroenergetiki-khanty-mansiyskogo-avtonomnogo-okruga-yugry-na-period/> (дата обращения: 16.04.2021)

2. Федеральный закон от 23 ноября 2009г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Государственная дума РФ.-11.11.2009. [Электронный ресурс]. — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/)(дата обращения:16.04.2021)
3. Государственная программа Российской Федерации «Развитие энергетики». [Электронный ресурс]. — URL: <https://minenergo.gov.ru/node/323>(дата обращения:16.04.2021)
4. Е.Н. Соснина, А.Ю. Кечкин, Д.А. Филатов Вопросы электроснабжения потребителей, удаленных от сетевой инфраструктуры // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева №5(107)-100с.». [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2014/05/100-105.pdf> (дата обращения:16.04.2021)
5. Фишма В.С. Электроснабжение удаленных маломощных потребителей проблемы и решения // Новости электротехники — 2014 — 5(89). [Электронный ресурс]. — URL: <http://news.elteh.ru/arh/2014/89/05.php>(дата обращения:16.04.2021)
6. Гибридные системы электроснабжения для удаленных поселков [Электронный ресурс]. — URL: [https://www.solarhome.ru/basics/autonom/hybrid\\_village.htm](https://www.solarhome.ru/basics/autonom/hybrid_village.htm)(дата обращения:16.04.2021)

УДК 621.314.2

*Казанчева А.Н.*

Сургутский государственный университет, г. Сургут

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УЗЛОВ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

г. Сургут

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются мероприятия по повышению энергоэффективности узлов нагрузки электрических сетей для дожимной насосной станции. Рассказывается о необходимости применения дожимной насосной станции в условиях производства, а также выделены способы снижения электроэнергии.

**Ключевые слова:** дожимная насосная станция, центробежный насос, нагрузка, электроэнергия, мощность, генератор.

*Kazancheva A. N.*

Surgut State University, Surgut

## MEASURES TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF LOAD NODES OF ELECTRIC NETWORKS

Surgut

**Annotation.** In this paper, we consider measures to improve the energy efficiency of load nodes of electrical networks for a booster pumping station. The article describes the need to use a booster pump station in production conditions, and also highlights ways to reduce electricity.

**Keywords:** booster pump station, centrifugal pump, load, electric power, power, generator.

Дожимная насосная станция (ДНС) является технологической частью системы сбора нефти и газа на промыслах с их последующей транспортировкой по промышленному объекту газонефтепровода. Само оборудование ДНС состоит из комплекса устройств, таких как: насосы, которые позволяют при транспорти-

ровки сообщать добытым углеводородам (нефти) и газу дополнительный напор, необходимый для их дальнейшего транспортирования по направлению высоконапорных участков через системы сбора и подготовки.

Способность рационального функционирования дожимной насосной станции можно регламентировать на основании нормативных документов. В нормативных документах рассматривается технологическая схема и технический производственный регламент.

Необходимость в применении дожимной насосной станции обусловлена причиной недостаточной энергии самого нефтегазового пласта для транспортировки скважинной продукции до установки предварительного сброса воды (УПСВ). Более того, ДНС, выполняет функцию сепарации, то есть отделения нефти от газа, и последующей транспортировки углеводородов в системе нефтесбора.

Нефть в данном случае перекачивается при помощи центробежного насоса. Дожимная насосная станция полного цикла состоит из буферной ёмкости, узла сбора и откачки утечек нефти, насосного блока, а также группы свечей для аварийного сброса газа. На нефтяных промыслах нефть после прохождения групповых замерных установок поступает в буферные ёмкости для обеспечения равномерного поступления нефти к перекачивающему насосу. И только после прохождения данного технологического этапа нефть поступает в нефтепровод [4].

Транспортировка нефтепродуктов один из самых энергозатратных секторов производства.

На сегодняшний день доля затрат на электроэнергию в себестоимости добычи нефти составляет порядка 40 %. Современный этап развития нефтяной промышленности можно охарактеризовать снижением темпов по отбору скважинной продукции из скважин на нефтяных месторождениях, которые перешли на позднюю стадию разработки, увеличивающимся ростом обводнённости и снижением качества добываемой продукции. При этом будет происходить непрерывный рост доли затрат на электрическую энергию. [1].

Электроснабжение дожимной насосной станции осуществляется от двух подстанций 35/6 кВ. Система контроля и управления ДНС обеспечивает автоматическое включение и отключение насосов.

Существующий на сегодняшний день насосный агрегат потребляет значительное количество электроэнергии, поэтому, можно выделить несколько способов снижения электроэнергии:

1. Замена существующего насосного агрегата на насосный агрегат с частотно регулируемым электроприводом. Для обеспечения непрерывного и энергоэффективного управления технологическими процессами, в которых используют-

ся электродвигатели, применяется частотно-регулируемый привод, основным звеном для которого является непосредственно двигатель и преобразователь частоты.

Применение преобразователей частоты в процессе управления электроприводами позволяет напрямую изменять регулируемые производственные характеристики, такие как температура, давление и скорость движения рабочих механизмов, для различных нужд с сохранением высокого коэффициента полезного действия, обеспечивая при этом существенное снижение энергопотребления. В связи с этим внедрение частотно-регулируемого привода позволит решить задачи в области автоматизации процесса производства и в сфере энергосбережения [2].

2. Замена существующих двигателей на энергосберегающие электрические двигатели. Наиболее надежным, экономичным и простым в эксплуатации при частых пусках и непостоянной нагрузке является асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. При больших мощностях появляется сложность в применении двигателя, в случае устанавливается асинхронный двигатель с фазным ротором.

Установка электродвигателя меньшей мощности, чем это необходимо по условиям работы привода, приводит к снижению производительности электропривода и делает его работу ненадежной. При этом сам электродвигатель в подобных условиях может быть поврежден.

Установка двигателя завышенной мощности может вызывать излишние потери энергии при работе электрической машины, обуславливая дополнительные капитальные вложения, увеличение массы и габаритов двигателя. Двигатель должен стабильно работать при возможных временных перегрузках и развивать пусковой момент на валу такой, который требуется для нормального функционирования исполнительного механизма. Во время работы двигатель не должен нагреваться до предельно допустимой температуры, однако, это всё-таки возможно, но на очень непродолжительное время. Поэтому в большинстве случаев мощность двигателя выбирается на основании условий нагревания до предельно допустимой температуры. Данный способ выбора мощности называется выбором мощности по нагреву [3].

Затем осуществляется проверка соответствия перегрузочной способности двигателя условиям пуска машины и временным перегрузкам. При большой кратковременной перегрузке, необходимо выбирать двигатель, исходя из требуемой максимальной мощности. В подобных условиях максимальная мощность двигателя длительное время не используется. Для привода с продолжительным режимом работы при постоянной или незначительно меняющейся нагрузке мощность двигателя должна быть равна мощности нагрузки, а проверки на перегрев

и перегрузку во время работы электропривода не понадобятся, так как это объясняется изначально определёнными условиями работы электродвигателя. В таком случае необходимо проверить, достаточен ли пусковой момент на валу двигателя для пусковых условий данной электрической машины.

1. Компенсация коэффициента реактивной мощности электродвигателя. Чем ниже значение коэффициента мощности, тем больше значение потреблённой реактивной мощности. Реактивная мощность не совершает никакой полезной работы, но оказывает негативное влияние на систему передачи и распределения электроэнергии, поэтому за её потребление электросетевые компании могут накладывать штрафы или брать оплату по более высоким тарифам.

Перегрузка генераторов и трансформаторов сопровождается повышением тока по причине низкого коэффициента мощности вследствие уменьшается их срок службы. Возрастание величины тока из-за низкого значения коэффициента мощности вызывает увеличение падения напряжения, и может привести к снижению напряжения на нагрузке относительно требуемого значения, вследствие чего произойдёт снижение мощности, которая поступает в нагрузку [2].

Преимуществами компенсации реактивной мощности является: уменьшение тепловых потерь, уменьшение падения напряжения в линиях электропередач и дополнительный прирост мощности системы электроснабжения.

2. Переключение обмотки статора с треугольника на звезду.

Иногда прямое подключение двигателя на сеть недопустимо в связи с большой величиной пусковых токов двигателя. В этом случае для пуска можно применять схемы с переключением со звезды на треугольник. Если двигатель оснащён подобной схемой, то подключение конденсатора осуществляется через контактор после того, как завершится пуск двигателя, то есть соединение в звезду, и он выйдет на установившийся режим. Использование этого способа позволяет избежать бросков тока и перенапряжений при пуске двигателя.

3. Снижение или полная ликвидация режима холостого хода. Такой способ снижения потерь электрической энергии рационально применить в ступенчатом пуске электропривода. Для асинхронного двигателя — это регулирование оборотов вращения с помощью частоты питающего тока или числа пар полюсов. Для двигателей постоянного тока — изменение угловой скорости с помощью напряжения.

Исходя из вышесказанного, существует потребность в комплексном изучении процессов повышения энергоэффективности на основе повышения энергоэффективности электроэнергетики в целом и электросетевого комплекса в частности на дожимных насосных станциях, это подтверждает высокий процент электросетевой составляющей в цене электроэнергии.

### Список литературы

1. Воротницкий, В. Э. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций [Электронный ресурс] / В. Э. Воротницкий, М. А. Калинкина, В. Н. Апрыткин // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». — 2003. — № 7 (19).
2. Москаленко В.В. Электрический привод: Учеб. пособие для студ. Учреждений сред. проф. образования — М.: Мастерство: Высшая школа, 2000. — 368с.
3. Петрушин В.С. Системный подход при проектировании регулируемых асинхронных двигателей // Электромеханика, электротехнологии и электро-материаловедение: Труды 5-ой Междунар. конф. МКЭЭЭ-2003. — Крым, Алушта, 2003. — Ч. 1. — С. 357–360.
4. Слышенков В.А. Оборудование для сбора и подготовки нефти и газа. Учебно-методическое пособие по практическим занятиям по дисциплине «Оборудование для добычи нефти» — М.: РГУ нефти и газа им.И.М.Губкина, 2012.
5. Федоров, Н.А. Энергоэффективность в электрических сетях // Оперативное управление в электроэнергетике. — 2014 — № 4. — С. 39–48.

УДК 621.31

*Иванов Д.М.<sup>1</sup>, Иванова Е.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> НГТУ, г. Новосибирск

<sup>2</sup> СГУВТ, г. Новосибирск

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ СТОХАСТИЧЕСКОМ ХАРАКТЕРЕ НАГРУЗКИ

г. Новосибирск

**Аннотация.** Исследованы причины возникновения колебаний напряжения на предприятии с переменными нагрузками. Представлен результат анализа таких показателей качества электроэнергии, как доза фликера и колебания напряжения. Представлены рекомендации для обеспечения нормируемого качества электроэнергии.

**Ключевые слова:** *колебания напряжения, доза фликера, провал напряжения, качество электрической энергии.*

*Ivanov D.M.<sup>1</sup>, Ivanova E.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> NSTU, Novosibirsk

<sup>2</sup> SSUWT, Novosibirsk

## RESEARCH OF ELECTRIC POWER QUALITY PARAMETERS AT STOCHASTIC CHARACTER OF LOAD

Novosibirsk

**Abstract.** The reasons for the occurrence of voltage fluctuations at an enterprise with variable loads have been investigated. The result of the analysis of such indicators of power quality as flicker dose and voltage fluctuations is presented. Recommendations for ensuring the standardized power quality are presented.

**Keywords:** *voltage fluctuations, flicker dose, voltage dip, power quality.*

Современные системы электроснабжения предприятий, которые работают с шестидесятих годов прошлого столетия, представляют собой микс из оборудо-

вания прошлых лет и нового электрооборудования, отвечающего современным требованиям. Это позволяет предприятиям выполнять технологические функции и даже обеспечивать свою рентабельность, но влечет отклонения показателей качества электроэнергии от нормируемых значений.

В связи с физическим износом и большой загрузкой работающего электрооборудования, на промышленных предприятиях часто возникают проблемы, обусловленные качеством электроэнергии (КЭ). Одним из характерных показателей качества электроэнергии являются колебания напряжения.

В цехе, где основными электроприемниками являются асинхронные двигатели, так же установлены термопластавтоматы, сушильные печи, оборотные охладители, дробилки для переработки отходов. Распределительная электрическая сеть не подвергалась реконструкции более двадцати лет. Увеличение электрической нагрузки, возникающие колебания напряжения при работе технологического оборудования, обусловили необходимость исследования показателей КЭ.

В качестве испытательного оборудования и средств измерений использовался анализатор качества электрической энергии АКЭ-824.

Одиночные быстрые изменения напряжения вызываются, в основном, резкими изменениями нагрузки в электроустановках потребителей, переключениями в системе, либо неисправностями и характеризуются быстрым переходом среднеквадратического значения напряжения от одного установившегося значения к другому [1].

Полученные данные следует разделить на два периода: с одним и двумя параллельно включенными питающими кабелями. За первые четыре часа измерений с одним питающим кабелем было зафиксировано 238 кратковременных провалов напряжения (суммарно по всем фазам), что составляет 75,6% от общего количества подобных аномалий напряжения за неделю измерений.

При подключении второго кабеля (соответственно, при увеличении сечения питающей линии) количество провалов напряжения сократилось в разы.

Колебания напряжения электропитания (как правило, продолжительностью менее 1 мин), в том числе одиночные быстрые изменения напряжения, обуславливают возникновение фликера.

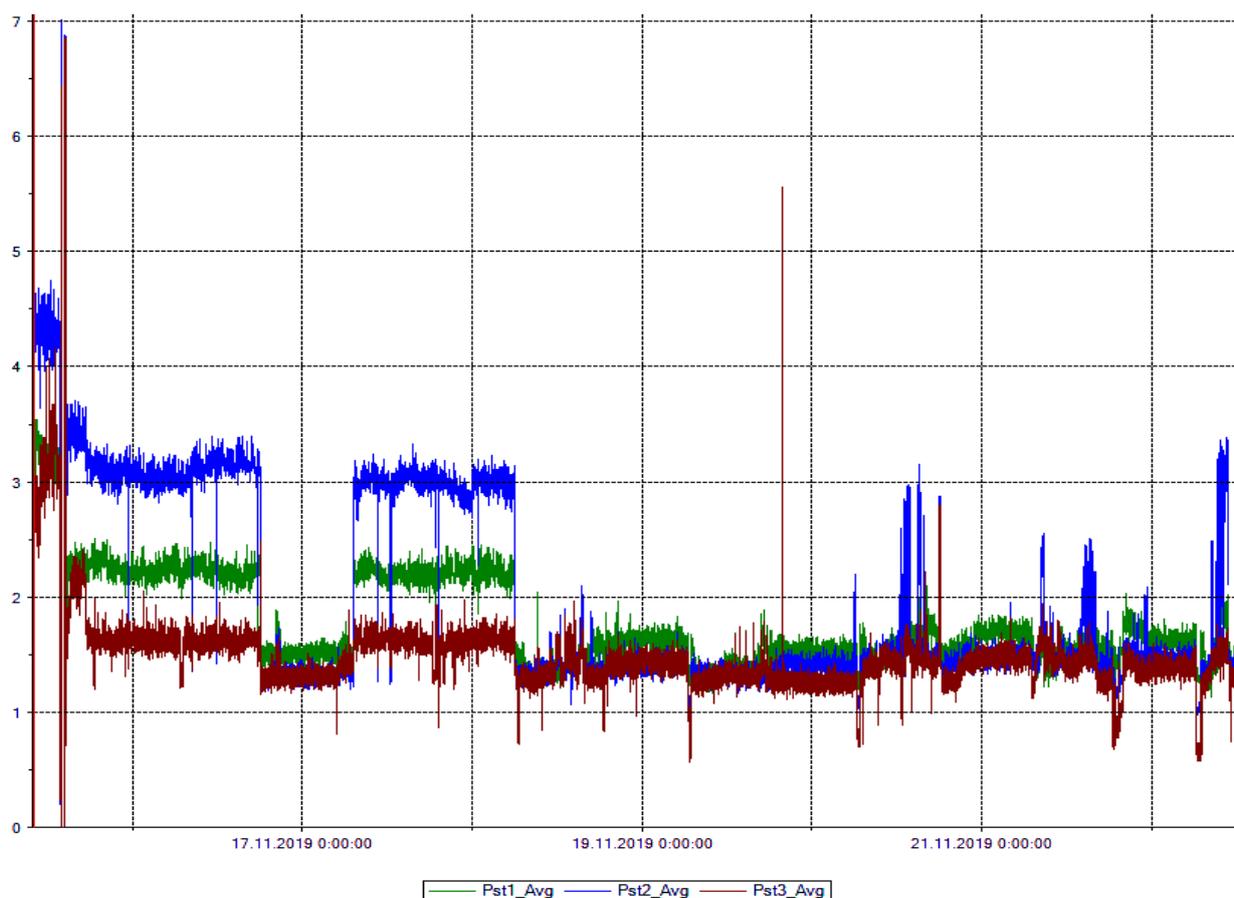
Фликер — это мера восприимчивости человека к воздействию колебаний светового потока, вызванных колебаниями напряжения в питающей сети, за установленный промежуток времени [2].

Показателями КЭ, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера  $P_{st}$ , измеренная в интервале времени 10 минут, и длительная доза фликера  $P_{lt}$ , измеренная в интервале времени 120 минут, в точке передачи электрической энергии.

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

- кратковременная доза фликера  $P_{st}$  не должна превышать значения 1,38;
- длительная доза фликера  $P_{lt}$  не должна превышать значения 1,0 в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Обработка результатов измерений производилась в среде TopView . В таблицах 1,2 на основании полученных результатов сделаны выводы о соответствии этого параметра КЭ нормативным документам (ГОСТ 32144-2013). Графики изменения уровня кратковременной и ждительной доз фликера представлены на рисунках 1, 2.



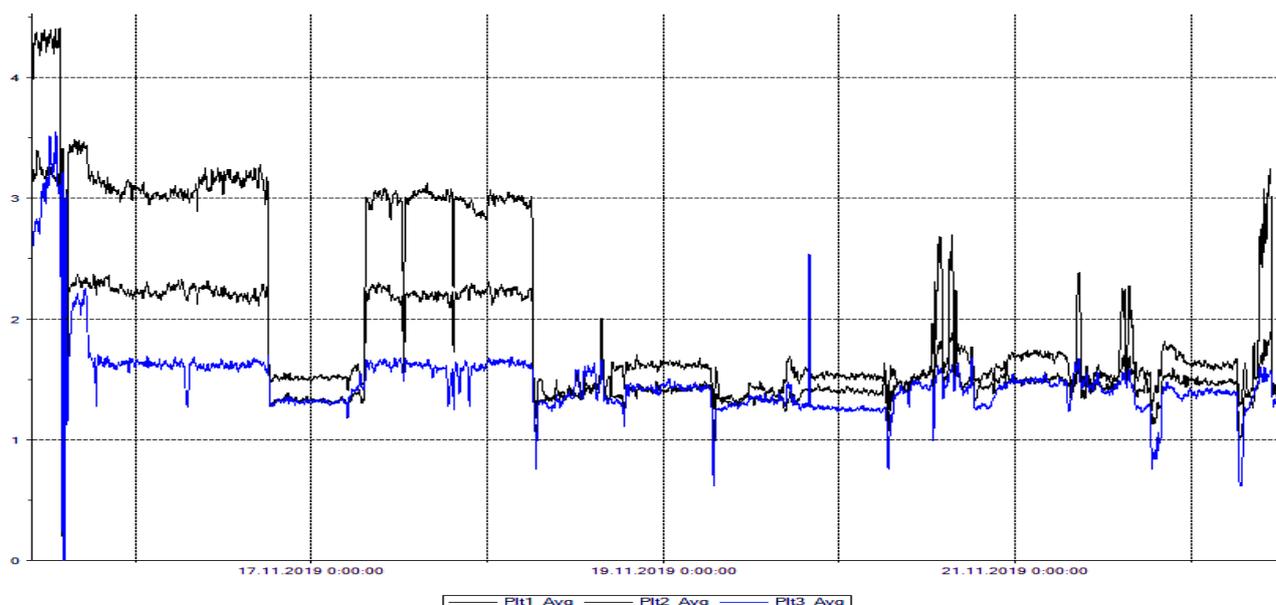
**Рисунок 1.** График изменения уровня кратковременной дозы фликера  $P_{st}$

**Таблица 1.** Максимальные и средние значения  $P_{st}$

Кратковременная доза фликера $P_{st}$					Вывод о соответствии нормативным документам
	А	В	С	Допустимое	
Мах	3,55	4,75	5,56	1,38	Не соответствует
Среднее значение	1,78	1,99	1,48	-	-

Таблица 2. Максимальные и средние значения  $P_{It}$ 

Длительная доза фликера $P_{It}$					Вывод о соответствии нормативным документам
	А	В	С	Допустимое	
Мах	3,4	4,41	3,55	1,0	Не соответствует
Среднее значение	1,78	2,0	1,48	-	-

Рисунок 2. График изменения уровня длительной дозы фликера  $P_{It}$ 

Фликер возникает вследствие колебаний напряжения сети. Основная причина появления фликера — это резкие включения/отключения больших нагрузок. Для обеспечения нормируемых значений дозы фликера и колебаний напряжения рекомендуется изменить конфигурацию и состав элементов питающей и распределительной сетей. Организовать электроснабжение спокойных нагрузок от второго источника питания линией с сечением, выбранным в соответствии с нагрузкой.

### Список литературы

1. Иванова Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова, под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. — Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2006. — 432 с.
2. Данилов Г.А. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г.А. Данилов, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов, Г.В. Ситников; под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова. — Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. — 559 с.

УДК 62-97/-98

*Переладов М.Е.<sup>1</sup>, Сальников В.Г.<sup>1</sup>, Смыков Ю.Н.<sup>1</sup>, Иванова Е.В.<sup>1</sup>,  
Денчик Ю.И.<sup>1</sup>, Кислицын Е.Ю.<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ СУДОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

г. Новосибирск

**Аннотация.** На основании повышения спроса и обеспечения уровня показателей электроэнергии, представлен результат математического моделирования статической нагрузки судовых потребителей электроэнергии. Проведены экспериментальные исследование статических характеристик плавкрана проект № Р-99

**Ключевые слова:** *статическая нагрузка, математическое моделирование, судовые потребители, система «берег-судно».*

*Pereladov M.E.<sup>1</sup>, Salnikov V.G.<sup>1</sup>, Smykov Yu.N.<sup>1</sup>, Ivanova E.V.<sup>1</sup>, Denchik Yu.I.<sup>1</sup>,  
Kislitsyn E. Yu.<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> FI HE «Surgut State University», Surgut

## MATHEMATICAL MODELING OF THE STATIC LOAD OF SHIP ELECTRICITY CONSUMERS

Novosibirsk

**Annotation.** Based on the increase in demand and ensuring the level of electricity indicators, the result of mathematical modeling of the static load of ship power consumers is presented. An experimental study of the static characteristics of the floating crane project № R-99

**Keywords:** *static load, mathematical modeling, ship consumers, shore-to-ship system.*

На основании стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 29 февраля 2016 г. № 327-р) и в соответствии с «Планом развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 года», утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2019 г. № 3120-р, необходимо увеличивать количество новых автономных электроэнергетических систем (ЭЭС) в районах крайнего севера в связи с повышением спроса на электроэнергию, а также обеспечивать уровень системных показатели качества электроэнергии [1, 2].

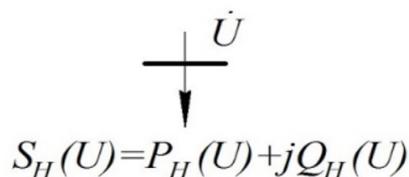
Особое внимание уделяется развитию портов (причалов) на реках Сибири, обеспечивающих возрастающий грузооборот. В связи с этим необходимо развивать береговые электрические сети с учетом потребностей в электроэнергии судов технического флота и плавающих объектов (при питании с берега).

При решении задачи по обеспечению равновесных режимов напряжения электропередачи «берег-судно» необходимо представить электрическую нагрузку судов в виде математической модели.

При наличии достоверной информации о составе и режимах работы узла нагрузки наиболее корректной является модель (рисунок 1) в виде статических характеристик по напряжению  $S_H(U) = P_H(U) + jQ_H(U)$ .

Статические характеристики узла нагрузки по напряжению характеризуют зависимости активной и реактивной мощностей от напряжения:  $P = P_H(U)$ ,  $Q = Q_H(U)$ . Причём определяются эти зависимости при настолько медленных изменениях режима, что каждую её точку можно считать соответствующей установившемуся режиму.

При расчётах режимов ЭЭС используются ещё статические характеристики узлов нагрузок по частоте:  $P = P_H(f)$ ,  $Q = Q_H(f)$ . При изменении частоты изменяется активная мощность электродвигательной нагрузки. Однако, повлиять, в нашем случае, на изменение частоты не представляется возможным (стабилизация частоты переменного тока в электрических сетях является одной из основных задач ЭЭС). Поэтому по объективным причинам модель в виде статических характеристик по частоте не рассматривается.



**Рисунок 1.** Однолинейные модели узлов нагрузки

Судовая электрическая нагрузка — это суммарная мощность различных электроприёмников, потребляемая в определённый момент времени, которые преобразуют электроэнергию в другие виды энергии [3]. Если же представить судовую электрическую сеть как узел системы электроснабжения судна с берега, то этом случае электрическая нагрузка в каждый момент времени определяется мощностью некоторого числа электроприёмников, объединённых единством технологического процесса судна и присоединённых к узлу системы электроснабжения судна.

В связи с тем, что более 70 % электрической энергии судовой электрической сети расходуются асинхронными двигателями на преобразование в механическую энергию, комплексную судовую электрическую нагрузку представляем эквивалентным асинхронным электрическим двигателем.

Каждый асинхронный двигатель спроектирован для работы при номинальных напряжении и частоте и должен обеспечивать нормальное функционирование при отклонениях показателей качества электроэнергии на нормированные значения (ГОСТ 32144-2013). При изменении этих показателей в заданных пределах может значительно изменяться полезная мощность на валу двигателя, обеспечивая при этом нормальную работу технологического агрегата. Достичь этого можно, если использовать для каждого двигателя индивидуальный регулятор напряжения, реализующий регулировочную характеристику [3]

$$U_{opt} = f(K_3), \quad (1)$$

где  $U_{opt}$  — оптимальное, с точки зрения минимума, полной мощности напряжение на зажимах двигателя, В;  $K_3$  — коэффициент загрузки, о.е.

Оснастить все судовые электроприёмники индивидуальными регуляторами напряжения невозможно, поэтому появилась идея эффективного использования группового регулятора напряжения, установленного на понижающем трансформаторе 10/0,4 кВ, на основе применения специального закона регулирования напряжения, учитывающего особенности статических характеристик судовых электроприёмников.

Обобщая изложенное и учитывая, что более  $\frac{3}{4}$  суммарной мощности, поступающей по электропередаче «берег — судно», расходуется асинхронными двигателями 0,4 кВ, представим комплексную судовую электрическую нагрузку судов технического флота и плавучих объектов эквивалентным асинхронным двигателем.

Представление комплексной судовой электрической нагрузки эквивалентным асинхронным двигателем требует отдельного рассмотрения динамической и статической характеристик асинхронной нагрузки по напряжению. Статическая

характеристика представляется в виде кривой на плоскости  $P=P_H(U)$ , где  $P_H$  — номинальная активная мощность двигателя, а динамическая характеристика в пространстве, как минимум трёх измерений [4]

$$P_H = P_H\left(U, \frac{dU}{dt}\right). \quad (2)$$

Различие между этими характеристиками обусловлено появлением свободных токов при быстром изменении скорости вращения ( $\omega$ ,  $\text{с}^{-1}$ ) электродвигателя ( $d\omega/dt \neq 0$ ). Если величина ( $d\omega/dt$ ) невелика (характерно для асинхронных двигателей 0,4 кВ промышленной серии) то динамические характеристики можно приближённо оценить на основе серий статических характеристик [4].

Динамические характеристики эквивалентной судовой асинхронной нагрузки не оказывают влияния на режим напряжения.

Статические характеристики судовой эквивалентной асинхронной нагрузки исследуются на основе схемы замещения. Используется Г-образная схема замещения асинхронного двигателя (рисунок 2), которая является основной в расчётных схемах режимов электрической сети [3, 4]. В отличие от классической схемы замещения, в схеме не учитываются потери активной мощности в статоре двигателя, т.е. активное сопротивление обмоток равно нулю ( $R_1 \approx 0$ ); потери активной мощности, связанные с намагничиванием стали.

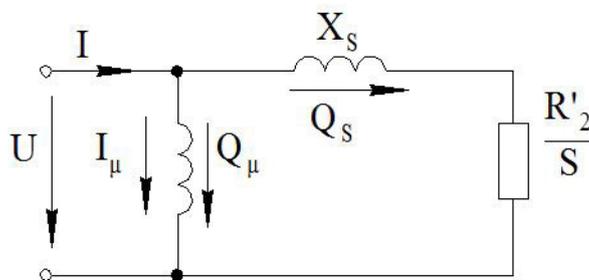


Рисунок 2. Схема замещения эквивалентной асинхронной нагрузки

В соответствии со схемой замещения активная мощность двигателя  $P$  зависит от напряжения  $U$  и скольжения  $S$

$$P = 3I^2 \cdot \frac{R'_2}{S} = \frac{U^2}{\left(\frac{R'_2}{S}\right)^2 + X_s^2} \cdot \frac{R'_2}{S} = \frac{U^2 \cdot R'_2 \cdot S}{R'_2 + (X_s \cdot S)^2}, \quad (2)$$

где  $I$  — ток статора, А;  $X_1$  — реактивное сопротивление статорной обмотки при номинальной частоте, Ом;  $R'_2, X'_2$  — соответственно активное и реактивное сопротивления обмотки ротора, приведённые к статору, Ом;  $S$  — скольжение, о.е.;  $X_s = X_1 + X'_2$  — суммарное реактивное сопротивление, Ом. Активная мощ-

ность, потребляемая двигателем, и его вращающий электромагнитный момент определяются моментом сопротивления рабочей машины.

Зависимость момента сопротивления  $M_{\text{мех}}$  от скорости вращения ( $\omega$ , с<sup>-1</sup>) аппроксимируется выражением

$$M_{\text{мех}} = K_3 \left[ M_{\text{СТ}} + (M_H - M_{\text{СТ}}) \cdot \left( \frac{1-S}{1-S_H} \right)^a \right], \quad (3)$$

где  $K_3 = M/M_H$  — коэффициент загрузки;  $M_{\text{СТ}} = M_{\text{мех}}(0)$  — статический момент сопротивления;  $M_H$  — номинальный момент;  $S$ ,  $S_H$  — соответственно скольжение двигателя и номинальное скольжение;  $a$  — показатель степени, зависящий от типа механизма.

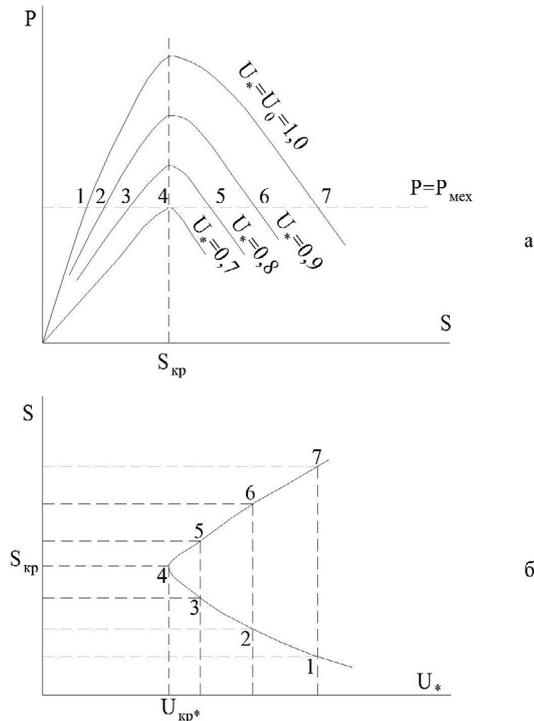
Дальнейший анализ зависимостей  $P = f(S)$  при различных значениях напряжения ( $U_* = U/U_H$ ) и  $S = f(U_*)$  эквивалентного асинхронного электродвигателя производим при  $a=0$ ,  $M_{\text{мех}} = \text{const}$ ,  $P = P_{\text{мех}}$ . При такой нагрузке на рисунке 3 приведены зависимости активной мощности  $P$  электродвигателя, скольжения  $S$  при различных значениях напряжения  $U_*$  и кривые функции  $S = f(U_*)$ . При заданном значении механической мощности  $P_{\text{мех}} = P$  каждому значению напряжения  $U > U_{\text{кр}}$  соответствуют два значения скольжения (рисунок 3, а), т.е. два режима, при которых активная мощность двигателя равна механической мощности  $P = P_{\text{мех}}$ .

Например, при  $U_* = 0,9$  существуют два режима, соответствующие точкам 2 и 6. Из теории устойчивости [3] известно, что режимы при  $(dP/dS) > 0$  устойчивы (точки 1, 2, 3), а при  $(dP/dS) < 0$  неустойчивы (точки 5, 6, 7). Для заданного значения  $P_{\text{мех}}$  существуют предельный (критический) режим при критических значениях напряжения  $U_{\text{кр}}$  и скольжении  $S_{\text{кр}}$  (точка 4 на рисунке 3, б) при  $(dP/dS) = 0$ . При напряжениях меньше критического работа двигателя невозможна, так как его максимальная электрическая мощность меньше механической мощности нагрузки,  $P < P_{\text{мех}}$ . Физически при снижении  $U < U_{\text{кр}}$  вращающийся двигатель тормозится, ток и реактивная мощность резко возрастают, а затем двигатель останавливается — опрокидывается.

Реактивная мощность двигателя  $Q$  имеет две составляющие (рисунок 2)

$$Q = Q_{\mu} + Q_S \quad (4)$$

где  $Q_{\mu}$  — намагничивающая мощность, связанная с намагничивающим сталь токком  $I_{\mu}$ ;  $Q_S$  — мощность рассеивания или реактивная мощность, поглощающая суммарным активным сопротивлением  $X_S$ .



**Рисунок 3.** Характеристика  $P = f(S)$  (а) эквивалентного асинхронного двигателя при различных значениях подведённого напряжения  $U_*$  и соответствующая ей зависимость  $S = f(U_*)$  (б)

Экспериментальные исследования регулирующего эффекта по напряжению комплексной судовой электрической нагрузки проводились при работе плавкрана проекта Р-99 в акватории Омского судоремонтно строительного завода. Статические характеристики аппроксимировались полиномами вида

$$\left. \begin{aligned} P &= P_H [a_0 + a_1(U / U_H)] \\ Q &= Q_H [b_0 + b_1(U / U_H)] \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где  $a_k, b_k$  — коэффициенты полиномов, аппроксимирующих статические характеристики нагрузки по напряжению,  $k = 0; 1$ .

Коэффициенты полиномов (1) связаны соотношениями

$$\left. \begin{aligned} a_0 + a_1 &= 1 \\ b_0 + b_1 &= 1 \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

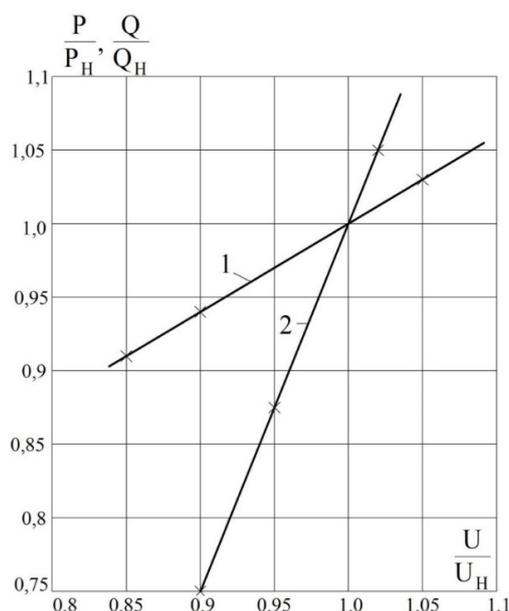
которые автоматически обеспечивают выполнение условий

$$P = P_H(U), Q = Q_H(U). \quad (7)$$

На рисунке 4 приведены статические характеристики комплексной нагрузки по напряжению 0,4 кВ плавкрана проекта Р-99. Эти характеристики представляются полиномами

$$\left. \begin{aligned} \frac{P}{P_H} &= \left[ 0,5 + 0,5 \left( \frac{U}{U_H} \right) \right] \\ \frac{Q}{Q_H} &= \left[ -1,5 + 2,5 \left( \frac{U}{U_H} \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Регулирующие эффекты, определяемые как производные от статических характеристик в точке номинального напряжения, составляют для активной мощности  $\alpha_p = 0,5$ , а для реактивной мощности  $\alpha_Q = 2,5$ . Это означает, что при изменении напряжения на 1% в ту же сторону изменяется потребляемая активная мощность на 0,5%, а реактивная на 2,5%.



**Рисунок 4.** Статические характеристики по напряжению комплексной нагрузки 0,4 кВ плавкрана проекта №Р-99: 1 —  $(P/P_H) = f(U/U_H)$ , 2 —  $(Q/Q_H) = f(U/U_H)$

Таким образом, установлено:

- регулирующие эффекты комплексной судовой нагрузки по активной и реактивной мощностям отличаются от отдельно взятого судового электроприёмника, в том числе и от эквивалентированной асинхронной нагрузки;
- регулирующий эффект комплексной судовой нагрузки по реактивной мощности имеет два аспекта: позитивный, способствующий стабилизации напряжения, и негативный, препятствующий встречному регулированию напряжения.

1. Обосновано представление комплексной судовой электрической нагрузки эквивалентным асинхронным двигателем.

2. Экспериментальным методом определены регулирующие эффекты по напряжению комплексной нагрузки 0,4 кВ плавкрана проекта № Р-99:

- статические характеристики представлены полиномом (7) и рисунком 2;
- регулирующие эффекты для активной мощности составляют 0,5, а для реактивной мощности 2,5.

3 Особенности судовой электрической нагрузки необходимо учитывать при решении технической задачи при питании судов технического флота и плавающих объектов с берега.

### Список 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. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения: учебник / Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. — Ростов на дону: Феникс, 2011. — 38 с.: ил.
4. Зубанов, Д.А. «Алгоритм определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности»: свидетельство о регистрации электронного ресурса № 23380 / А.И. Антонов, Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, Н.В. Зубанова, Д.М. Иванов, А.А. Руппель, В.Г. Сальников опубли. 12.2017 «Хроники Объединенного фонда электронных ресурсов “Наука и образование”» 12 (103) декабрь 2017 — С. 65-66.

УДК 621.311

*Лаптев Д.С., Чирятев К.В.*

Сургутский Государственный Университет, г. Сургут

## СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

г. Сургут

**Аннотация.** Целью статьи является анализ основных направлений повышения эффективности, которые проектировщик должен учитывать при проектировании современной системы электроснабжения промышленных предприятий. В статье проанализированы последние научно-технические достижения в области электроэнергетики, применяемые при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий. Установлена актуальность и необходимость проектирования цифровых подстанций.

**Ключевые слова:** *Smart Grid, цифровая подстанция, цифровые технологии, умные сети, автоматизация, энергоэффективность, электроснабжение.*

*Laptev D.S., Chiryatev K.V.*

Surgut State University, Surgut

## MODERN WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

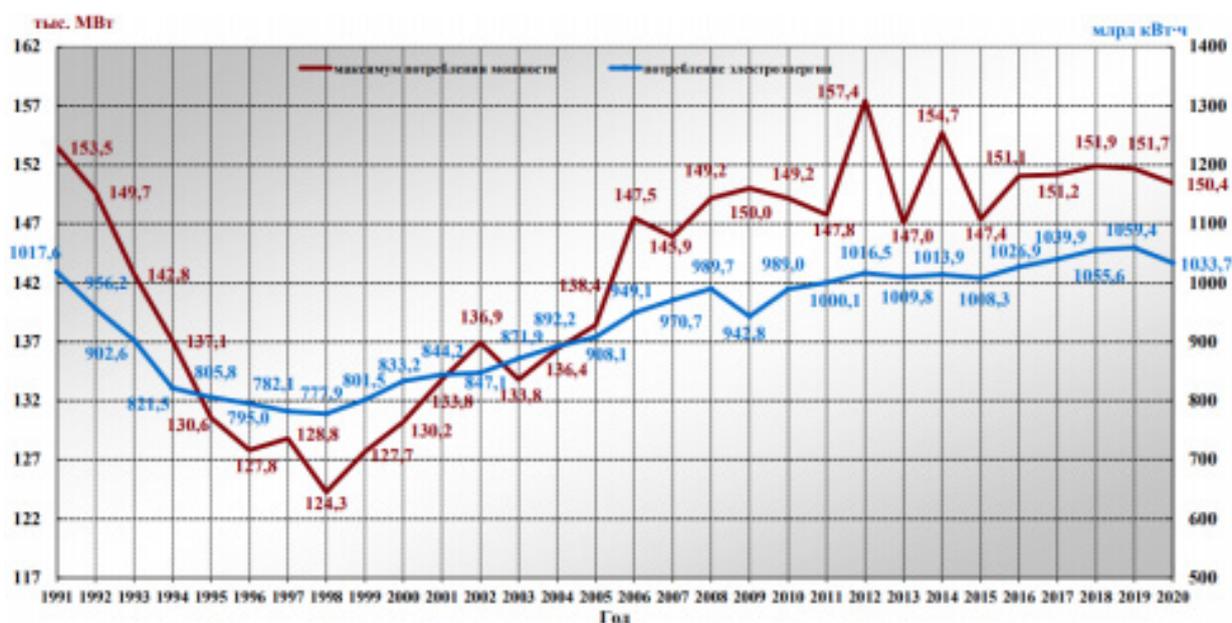
Surgut

**Abstract.** The purpose of the article is to analyze the main directions for increasing efficiency, which the designer must take into account when designing a modern power supply system for industrial enterprises. The article analyzes the latest scientific and technical achievements in the field of electric power, used in the design of power supply systems for industrial enterprises. The urgency and necessity of designing digital substations has been established.

**Keywords:** *Smart Grid, digital substation, digital technologies, automation, energy efficiency, power supply.*

С 1998 года ежегодное потребление электроэнергии и мощности по ЕЭС (Единая энергетическая система) России стабильно увеличивается (рис. 1). Согласно последнему отчету о функционировании ЕЭС России, потребление электрической энергии в 2019 году выросло на 3,8 млрд кВт·ч (0,36 %), по сравнению с предыдущим годом, а относительно 2017 года увеличение составляет 19,5 млрд кВт·ч (1,87 %). Потребление электроэнергии в 2020 году снизилось на 25,6 млрд кВт·ч (-2,4%) относительно 2019 года. Снижение потребления электроэнергии связано с введением ограничительных мер, необходимых для предотвращения распространения новой коронавирусной инфекции COVID-19. Вместе с тем, к концу года потребление электроэнергии вернулось к значениям 2018-2019 годов.

В связи со стабильным увеличением потребления электроэнергии и мощности по ЕЭС России и перспективами развития топливно-энергетического комплекса возникает потребность в проектировании систем электроснабжения (СЭС) для новых городских районов и промышленных предприятий.



**Рисунок 1.** Наглядный график изменения потребления электроэнергии и мощности по России

Сегодня в электроэнергетической отрасли первоочередными ставятся задачи сокращения потерь электрической энергии и расходов на нее, снижения оплаты за коммунальные услуги, улучшения экологической ситуации в мире, уменьшение несчастных случаев в данной отрасли и др. Поиск ответов на эти вопросы является очень важной задачей в текущих условиях развития российской экономики.

При анализе СЭС промышленных предприятий часто выявляются нежелательные потери электроэнергии, и вследствие этого повышенные затраты

энергоресурсов. Весомая часть электрических потерь энергии в системах электроснабжения промышленных предприятий, в основном возникает из-за эксплуатации устаревшего и изношенного оборудования, а также из-за отсутствия современных автоматизированных систем управления.

Одним из методов повышения эффективности СЭС промышленных предприятий может являться внедрение интеллектуальных сетей Smart Grid. Порядка 20 лет назад наметилось направление, связанное с переходом на цифровые технологии в различных системах подстанций (ПС). На сегодняшний день эта тенденция стремительно развивается. Все больше появляется теоретических и практических исследований, разрабатываются новые международные стандарты, новое оборудование и требования к ним.

Важность проектирования цифровых ПС (ЦПС) также объясняется «Энергетической стратегией России на период до 2030 года», в качестве первого пункта которой указывается создание в России интеллектуальных сетей Smart Grid [4]. Внедрение в данной отрасли систем автоматизации и управления позволит повысить надежность топливно-энергетического обеспечения, минимизировать человеческий фактор на производстве, а также снизить риски в области энергетической безопасности.

В перспективе ЦПС будет являться ключевым звеном интеллектуальной сети (Smart Grid). На сегодняшний день активно ведутся разработки в области проектирования ЦПС. Проводятся испытания нового оборудования, разрабатываются и применяются новые стандарты.

Стратегия EnergyNet предполагает установку на объектах ЕЭС России интеллектуальных устройств, организованных по модели привычного всем Интернету [3]. IoEN (Internet of Energy — Интернет энергии) открывает принципиально новые возможности для всей отрасли электроэнергетики. Не даром, на повестке Национальной технологической инициативы, Президентом РФ, как приоритетное, обозначено направление создания энергетики будущего на принципах данной стратегии. Идея EnergyNet состоит в том, что потребители и производители электрической энергии внедряются в общую электроэнергетическую инфраструктуру и беспрепятственно обмениваются энергией. В стратегии EnergyNet выделяется 3 ключевых рынка (рис. 2):

- Надежные и гибкие сети. Новые сети должны отвечать кардинально другим показателям эффективности с точки зрения доступности, открытости, надежности и стоимости владения.
- Распределенная энергетика. Внедрение в единую сеть источников распределенной генерации, микросетей, накопителей, создание виртуальных электрических станций для снижения пика резерва мощности в системе.
- Потребительские сервисы.



**Рисунок 2.** Инновационные рынки энергетики будущего

При проектировании ЦП предлагается применять стандарт МЭК 61850 «Коммуникационные сети и системы подстанций» [6]. На рынке электрооборудования, применяемого при проектировании интеллектуальных систем, появляются все больше различных фирм-разработчиков такого оборудования. В следствие этого, нарастает большое разнообразие решений, что делает менее гибким факт применения оборудования разных фирм при разработке одного проекта, так как отсутствует совместимость и взаимозаменяемость оборудования. Разработанный стандарт МЭК 61850 позволяет унифицировать устройства всех производителей нового оборудования, а также описывает ряд требований по организации сети на всех этапах проектирования и разработки. Стандарт решает проблему совместимости оборудования мировой электроэнергетики. Согласно МЭК 61850 устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) объединяются технологической шиной, по которой обмениваются данными между собой. Удобство и преимущество данной архитектуры заключается в том, что, применяя данную шину, уменьшается количество медных проводов, а, следовательно, упрощается конфигурирование, проектирование, наладка и эксплуатация системы. В качестве примера можно привести стандартную ПС, состоящую из тысячи различных устройств, соединенных между собой медными проводами с относительно низкой скоростью передачи данных, в то время как на современной

ПС, соответствующей стандарту МЭК 61850, интеллектуальные электронные устройства (ИЭУ) подключаются к высокоскоростной шине Ethernet. Это позволяет относительно легко реализовать комплексную стратегию по управлению, техническому обслуживанию и контролю посредством централизованной системы SCADA (рис. 3).

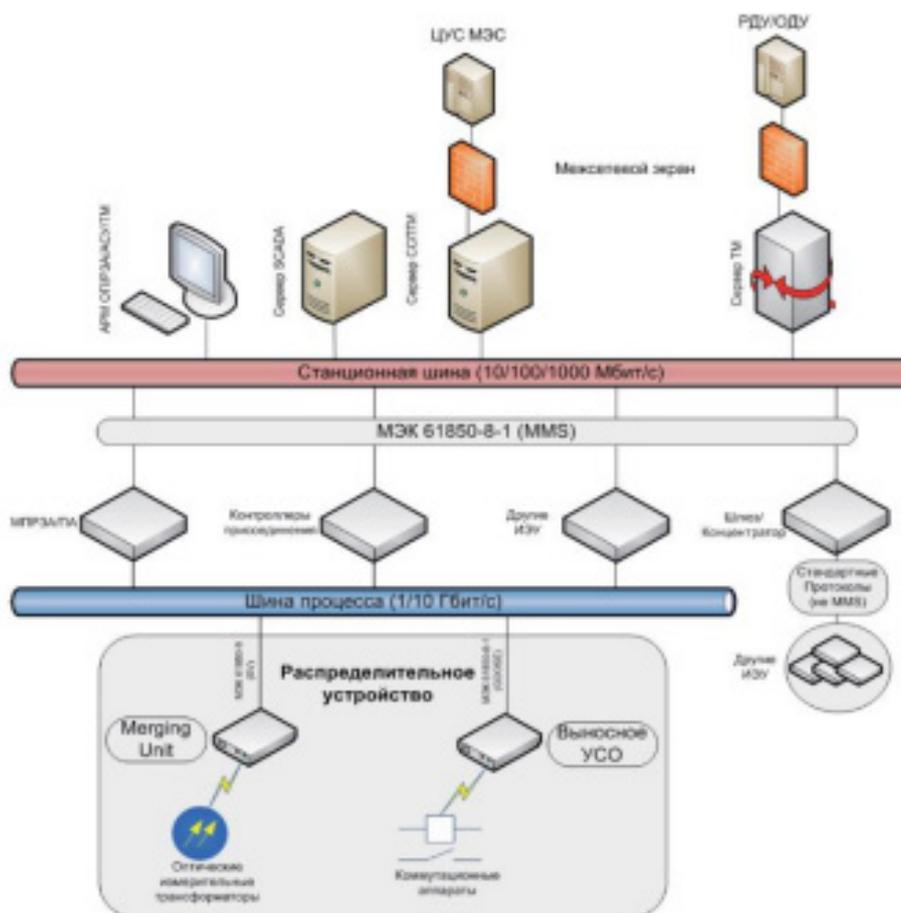


Рисунок 3. Структура цифровой подстанции

В мире все активнее применяют решения, которые основаны на данном стандарте, а также все чаще реализуются технологии автоматизированного управления Smart Grid. Таким образом, одним из способов, повышения эффективности действующих и проектируемых СЭС промышленных предприятий, является модернизация, реконструкция и проектирование СЭС с учетом последних достижений научно-технического прогресса в электроэнергетической сфере. Это осуществляется путем применения электрооборудования с повышенным КПД, внедрением энергосберегающих технологий и применение интеллектуальных сетей Smart Grid [2].

Также, одним из стандартных способов повышения эффективности СЭС промышленных предприятий является выравнивание неравномерных суточных гра-

фиков электрических нагрузок. Применение этого способа ощутимо снижает пиковый максимум нагрузки, что приводит к снижению потерь электроэнергии. Например, если предприятие работает в 2 смены, можно ввести 3 смену (ночную), которая заполнит ночной провал суточного графика нагрузки предприятия. Также, можно ввести интервал между сменами в период резко-выраженного максимума нагрузки энергосистемы [1].

Еще одним способом повышения эффективности СЭС, является снижение потерь, за счет внедрения компенсирующих устройств (КУ). Установка компенсации реактивной мощности (УКРМ) обеспечивает увеличение и поддержание на нормальном уровне величин коэффициента мощности трехфазной распределительной сети. Плавное и непрерывное регулирование емкости КУ по заданному закону регулирования осуществляется при помощи тиристорного регулирования КУ [5].

В итоге, можно заключить, что при разработке концепций и проектировании СЭС промышленных предприятий необходимо делать упор на автоматизацию, в частности на цифровизацию оборудования подстанции. Очевидно, что такая ПС должна отвечать всем нормам безопасности, быть экономичной, и иметь минимальный срок окупаемости.

Для того, чтобы получить свободу тщательного выбора самой лучшей продукции под конкретные задачи был разработан стандарт МЭК 61850. Поскольку данный стандарт является

открытым, любой поставщик аппаратного обеспечения может предоставлять продукцию, соответствующую этому стандарту. Преимущества внедрения стандарта остаются неизменными:

- Упрощенная архитектура;
- Повышенная надежность;
- Перспективная конструкция;
- Независимость от поставщиков.

Очевидно, что на сегодняшний день необходимо продолжение исследований по опытной эксплуатации новых устройств, которые будут применяться при проектировании интеллектуальных СЭС промышленных предприятий. Решение о готовности применения устройств нового поколения возможно только при условии их стабильной и надежной работы. Полученные результаты исследований должны лечь в основу разработки новых алгоритмов функционирования устройств, направленных на улучшение их качественных характеристик. Применение технологии класса «цифровая подстанция» позволит в будущем существенно сократить расходы на проектирование, пуско-наладку, эксплуатацию и обслуживание энергетических объектов.

### Список литературы

1. Ефременко В.М., Беляевский Р.В. О влиянии перетоков реактивной мощности на параметры систем электроснабжения промышленных предприятий // Вестник КузГТУ. 2011. №3. С. 60-63
2. Иванов В.С., Пономарев В.А., Методы повышения эффективности систем энергоснабжения промышленных предприятий // Вестник РГРТУ. 2017. № 59. С. 158-169
3. Мозохин А.Е., Дроздов В.Г., Староверов Б.А. Энергетика нового уклада (Energy Net): проектирование интеллектуальных цифровых систем на электрических подстанциях: учеб. пособие, — Кострома: Изд-во Костром. гос. ун-та, 2018. — 67с.;
4. Министерство энергетики [Электронный ресурс]: Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/15357> (дата обращения: 19.03.2021).
5. Овчаренко Т.И., Васюченко П.В., Кирисов И.Г. Анализ существующих систем электроснабжения предприятий как фактор повышения их эффективности // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2012. №7. С.17-22.
6. Туев Л.Е. Применение стандарта МЭК 61850 при проектировании цифровых подстанций // Энигма. — Новосибирск, 2020. — С. 184-191;

УДК 621.311

*Чирятев К.В.<sup>1</sup>, Лаптев Д.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Сургутский Государственный Университет, г. Сургут

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

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6–10 кВ НА НАПРЯЖЕНИЕ 20 кВ

г. Сургут

**Аннотация.** В статье рассматривается перевод сетей 6–10 кВ на 20 кВ с целью повышения эффективности передачи электрической энергии путем снижения потерь напряжения. Основными преимуществами перевода являются снижение относительных потерь напряжения, снижение потерь электроэнергии, уменьшение токов короткого замыкания и увеличение пропускной способности линий электропередачи. Указаны результаты расчета снижения потерь напряжения и графически представлены результаты расчета потерь электроэнергии.

**Ключевые слова:** *передача электрической энергии, потери электроэнергии, напряжение, электрические сети, энергоэффективность.*

*Chiryatev K.V.<sup>1</sup>, Laptev D.S.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Surgut State University, Surgut

<sup>2</sup> Branch “OGK-2” — Surgut Power Station-1, Surgut

## ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF VOLTAGE TRANSFER OF ELECTRIC NETWORKS FROM 6–10 kV TO 20 kV

Surgut

**Abstract.** The article discusses the transfer of 6–10 kV electric networks to 20 kV in order to increase the efficiency of electric power transmission by reducing voltage losses. The main advantages of the transfer are the reduction of voltage losses, reduction of the electricity losses, reduction on short-circuit currents and the increase of the transmission capacity of power lines. The results of calculating of the reduction of voltage and electric power losses are presented.

**Keywords:** *electric networks, electric power losses, energy saving, transmission of electricity, voltage.*

Одной из основных задач «Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» в области электроэнергетики в рамках регионального развития [4] является повышение эффективности передачи электрической энергии.

Важным показателем для данной проблемы является уровень потерь электроэнергии. Одним из способов снижения возможных потерь является перевод используемых сегодня электрических сетей 6–10 кВ на более высокий уровень напряжения.

В ряде документов, таких как: «Энергетическая стратегия города Москвы на период до 2025 года» [3] переход на класс напряжения 20 кВ принят как стратегическое направление развития электрических сетей. Уже существует подстанция «Берсенеvская», работающая в том числе на напряжении 20 кВ, что позволило создать резерв мощности для города. Также, необходимо отметить опыт компании «ЮРЭСК», применяющую данный класс напряжения для электроснабжения населенных пунктов Ханты-Мансийского автономного округа — Югра, находящихся вдали от распределяющих подстанций. Решение использовать линии 20 кВ позволило отказаться от неподходящих по потере напряжения линий 6 и 10 кВ, а также не строить слишком нерентабельные линии 35 кВ.

К основным преимуществам использования напряжения 20 кВ, по сравнению с 6–10 кВ можно отнести:

— Снижение относительных потерь напряжения в сети. Рассматривается это на примере расчета потерь напряжения в сетях 6, 10, 20 кВ.

Для трехфазной сети потеря напряжения определяется по формуле[2]:

$$U_r = \frac{100 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot S \cdot U^2}, \quad (1)$$

где  $U_r$  — относительная потеря напряжения;

$P$  — мощность, Вт;

$l$  — длина линии, м;

$S$  — сечение проводов, мм<sup>2</sup>;

$\gamma$  — удельная проводимость (для алюминия 34,5 Ом·мм<sup>2</sup>);

$U$  — напряжение сети, В;

При условии, что передаваемая полная мощность, длина линии, удельная проводимость и сечения жил одинаковы, получатся формулы потери напряжения для 6, 10, 20 кВ:

$$U_{r(6)} = \frac{100 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot S \cdot U_{(6)}^2}, \quad (2)$$

$$U_{r(10)} = \frac{100 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot S \cdot U_{(10)}^2}, \quad (3)$$

$$U_{r(20)} = \frac{100 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot S \cdot U_{(20)}^2} \cdot \quad (4)$$

Уменьшения потерь при переводе 6 и 10 кВ на напряжение 20 кВ соответственно равны:

$$\frac{U_{r(6)}}{U_{r(20)}} = \frac{100 \cdot P \cdot l \cdot \gamma \cdot S \cdot U_{(20)}^2}{\gamma \cdot S \cdot U_{(6)}^2 \cdot 100 \cdot P \cdot l} = \frac{U_{(20)}^2}{U_{(6)}^2} = 11,11. \quad (5)$$

$$\frac{U_{r(10)}}{U_{r(20)}} = \frac{100 \cdot P \cdot l \cdot \gamma \cdot S \cdot U_{(20)}^2}{\gamma \cdot S \cdot U_{(10)}^2 \cdot 100 \cdot P \cdot l} = \frac{U_{(20)}^2}{U_{(10)}^2} = 4. \quad (6)$$

Из полученных результатов можно сделать вывод, что перевод сетей с 6 и 10 кВ на 20 кВ позволит сократить потери напряжения в 11 и 4 раза соответственно.

— Снижение потерь электроэнергии. Доказать это можно расчетом потерь электроэнергии при 6, 10, 20 кВ методом средних нагрузок [1].

На рисунке 1 представлена схема участка сети, для которого производится расчет потерь.



**Рисунок 1.** Схема участка сети

По формуле определяются нагрузочные потери в линии:

$$\Delta W = k_{\phi} \cdot 3 \cdot I_{cp}^2 \cdot R \cdot T, \quad (7)$$

где  $I_{cp}^2$  — средний ток линии,  $A^2$ ;

$R$  — активное сопротивление линии, Ом;

$T$  — время работы линии за год, ч;

$k_{\phi} = 1,1$  — коэффициент формы графика суммарной нагрузки сети;

$$-R = r_0 \cdot l, \quad (8)$$

где  $r_0$  — удельное активное сопротивление линии, Ом/км;

$l$  — длина линии;

$$I_{\text{ср}} = \frac{W}{\sqrt{3} \cdot U \cdot T \cdot \cos\varphi}, \quad (9)$$

где  $W$  — потребление электроэнергии в узле нагрузки, кВт·ч;

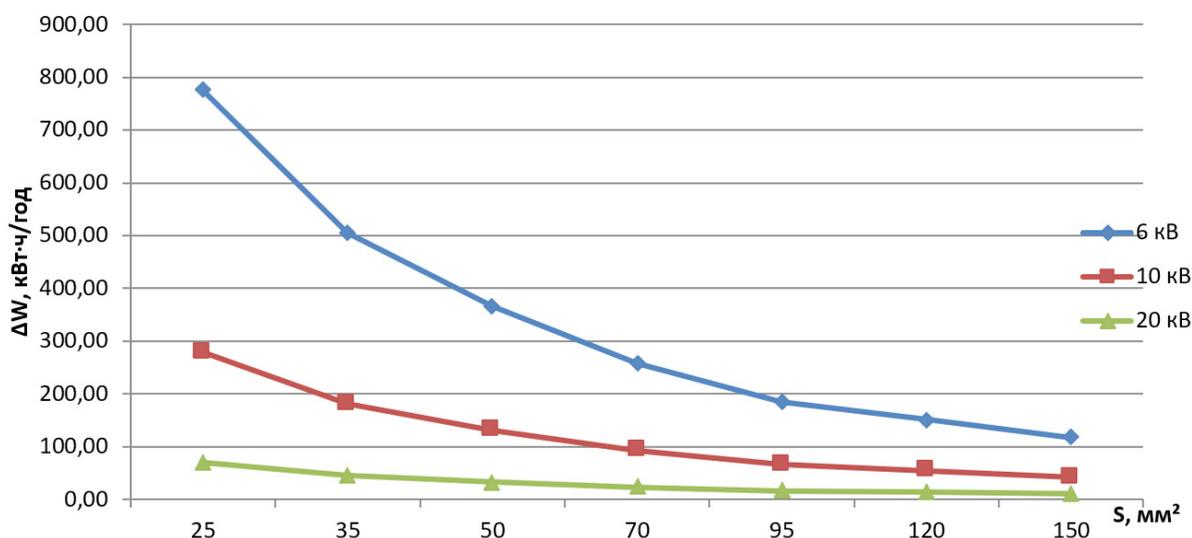
$U$  — напряжение линии, В;

$\cos\varphi = 0,8$  — коэффициент мощности линии.

Полученные результаты расчетов сведены в таблицу 1 и представлены на рисунке 2:

**Таблица 1.** Нагрузочные потери в линии из проводов марки АС при напряжении 6, 10, 20 кВ

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Нагрузочные потери в линии, кВт·ч/год		
	6 кВ	10 кВ	20 кВ
25	775,62	279,22	69,81
35	505,84	182,10	45,53
50	365,33	131,52	32,88
70	258,54	93,07	23,27
95	185,47	66,77	16,69
120	151,75	54,63	13,66
150	118,03	42,49	10,62



**Рисунок 2.** Нагрузочные потери в линии

Из представленного графика можно сделать вывод, что переход на класс напряжения 20 кВ позволит существенно снизить потери электроэнергии.

- Повышение напряжения сети приведет к снижению токов короткого замыкания, что позволит устанавливать аппаратуру с меньшей отключающей способностью по току;

— Повышенный класс напряжения приведет к увеличению пропускной способности линий.

По результатам анализа можно сделать вывод, что перевод сетей 6–10 кВ на более высокий класс напряжения оправдан для центров нагрузки большой электрической мощности, требующих увеличения пропускной способности линий и снижения потерь в процессе распределения электроэнергии, а также для отдаленных районов страны, находящихся в зоне децентрализованного электроснабжения. Создание сетей напряжением 20 кВ позволит нарастить резервы мощности, а также обеспечить потребителей электроэнергией надлежащего качества и в достаточном объеме, с условием увеличения передаваемой мощности и снижения потерь.

### Список литературы

1. Инструкция по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчет и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. Утверждена приказом Минэнерго РФ № 326 от 30.12.2008.
2. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети. / А.В. Лыкин, Ю.М. Сидоркин. — М.: Новосибирск: 2006.
3. Энергетическая стратегия города Москвы на период до 2025 года. Утверждена распоряжением постановлением Правительства Москвы № 462-ПП от 06.06.2007.
4. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ № 1523-р от 09.06.2021.

УДК 621.311.8

*Алиев Д. С., Хаитов К.Х.*

Сургутский государственный университет, г. Сургут

## ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ В АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

г. Сургут

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются способы повышения КПД асинхронного электродвигателя, так как они широко применяются в производстве. Подробно проанализированы методы повышения коэффициента мощности асинхронного электродвигателя, возникающие при его работе. Повышение коэффициента мощности электроустановок промышленных предприятий имеет большое народнохозяйственное значение и входит в общую задачу повышения эффективности систем электроснабжения и повышения качества электроэнергии, поставляемой потребителям. Правильное решение этой проблемы видится в одном — необходимости экономить электроэнергию и проводить мероприятия, способствующие этому.

**Ключевые слова:** коэффициент мощности, активная мощность, реактивная мощность, синхронные компенсаторы, конденсаторные установки, асинхронные электродвигатели.

*Aliev D. S., Khaitov K.Kh.*

Surgut state University, Surgut

## INCREASING THE POWER FACTOR IN AC ASYNCHRONOUS MOTORS

Surgut

**Annotation.** This article discusses ways to improve the efficiency of an asynchronous electric motor, as they are widely used in production. The methods of increasing the power factor of an asynchronous electric motor that occur during operation are analyzed in detail. Increasing the power factor of electrical installations of industrial enterprises is of great national economic importance and is part of the

general problem of increasing the efficiency of power supply systems and improving the quality of electricity supplied to consumers. The correct solution to this problem is seen in one thing — the need to save electricity and carry out activities that contribute to this.

**Keywords:** *power factor, active power, reactive power, synchronous compensators.*

Основными потребителями электроэнергии в промышленности и сельском хозяйстве являются электродвигатели. Известно, что более половины всей производимой в мире электроэнергии потребляется электродвигателями, которые используются в электроприводах рабочих машин, механизмов и транспортных средств. Поэтому важнейшим направлением в процессе энергосбережения является эффективная работа электродвигателей. В связи с этим наиболее актуальными являются меры по экономии электроэнергии в электроприводах.

Для того чтобы повысить КПД электропривода, необходимо обеспечить его нагрузку на уровне 75% или, по крайней мере, увеличить коэффициент мощности, отрегулировать напряжение и, по возможности, частоту подаваемого тока.

Реализация вышеперечисленных мероприятий достигается за счет использования специального оборудования, позволяющего увеличить коэффициент мощности электродвигателя. В первую очередь это касается устройств с электроприводом, в которых основным элементом является асинхронный электродвигатель.

Принцип работы асинхронного двигателя переменного тока основан на явлении электромагнитной индукции. Поэтому подводимый к электродвигателю поток мощности должен содержать не только активную составляющую  $P$ , но и реактивную составляющую индуктивной природы  $Q_L$ , необходимую для создания магнитных полей, без которых невозможны процессы преобразования тока и напряжения.

При проектировании и эксплуатации различных типов электроприводов необходимо учитывать потребление и потери электроэнергии, влияние электропривода на сеть и на другие электроприемники. Оценка этих свойств осуществляется с помощью так называемых энергетических показателей: КПД, коэффициент мощности, потери мощности и энергии.

Важнейшим условием рационального использования электроэнергии, то есть увеличения коэффициента мощности  $\cos\varphi$ , является полная загрузка асинхронного электродвигателя и предотвращение его длительной работы на холостом ходу, правильный выбор типа двигателя и его мощности. Такой способ увеличения коэффициента мощности  $\cos\varphi$  называется естественным.

Поэтому неправильный выбор типа асинхронного двигателя и его мощности приводит к снижению коэффициента мощности  $\cos\varphi$ .

Основным недостатком асинхронных двигателей переменного тока является низкий коэффициент мощности  $\cos\varphi$ . Коэффициент мощности показывает, какая часть общей мощности, потребляемой двигателем, преобразуется в полезную мощность.

$$\cos\varphi = \frac{P_2}{S} = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q^2}} \quad (1)$$

где:  $\cos\varphi$  — коэффициент мощности двигателя,  $S$  — полная мощность потребляемая асинхронном электродвигателем, реактивная мощность,  $P$  — полезная (активная) мощность асинхронного электродвигателя.

Эта формула может быть преобразована относительно активной мощности асинхронного двигателя:

$$P = S \cdot \cos\varphi \quad (2)$$

где:  $P$  — полезная (активная) мощность асинхронного электродвигателя,  $S$  — полная мощность потребляемая асинхронном электродвигателем,  $\cos\varphi$  — коэффициент мощности асинхронного электродвигателя.

Анализ последней формулы показывает, что чем больше коэффициент мощности, тем больше полезная мощность на валу асинхронного двигателя. Кроме того, анализ предыдущей формулы показывает, что увеличение коэффициента мощности при заданной полной мощности может быть достигнуто только за счет уменьшения реактивной мощности асинхронного двигателя.

Компенсация реактивной мощности или увеличение коэффициента мощности электроустановок промышленных предприятий имеет большое народнохозяйственное значение в рамках общей задачи повышения эффективности системы электроснабжения и повышения качества электроэнергии, поставляемой потребителю.

Для борьбы с низким КПД таких электродвигателей промышленные предприятия часто включают в питающую сеть компенсирующую емкостную нагрузку.

Для повышения коэффициента мощности асинхронных электродвигателей используются следующие методы:

- 1) замена малонагруженных электродвигателей, электродвигателей меньшей мощности;
- 2) снижение напряжения, подаваемого на двигатель;
- 3) ограничение времени работы электродвигателей и трансформаторов, работающих на холостом ходу;

4) использование устройств компенсации реактивной мощности.

**Методы компенсации реактивной мощности  
в системах электроснабжения**

В зависимости от схемы подключения конденсаторов к потребителю существует несколько видов компенсации: индивидуальная, групповая и централизованная.

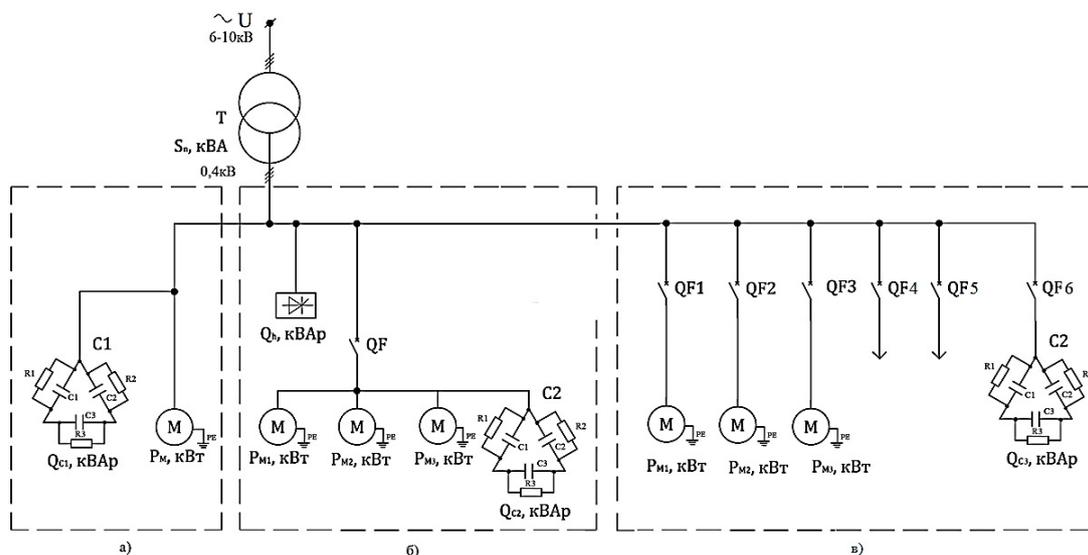
Индивидуальный метод, это самый простой и дешевый способ компенсации. Количество конденсаторов (конденсаторных батарей) соответствует количеству нагрузок и каждый конденсатор расположен непосредственно на соответствующей нагрузке (рядом с двигателем и т. д.). Такая компенсация хороша только для постоянных нагрузок (например, одного или нескольких асинхронных двигателей с постоянной частотой вращения вала), то есть там, где реактивная мощность каждой из нагрузок (в включенном состоянии нагрузок) изменяется незначительно с течением времени, и ее компенсация не требует изменения номинальных характеристик подключенных конденсаторных батарей, как показано на рис. 1а.

Групповая компенсация предполагает подключение одного общего конденсатора или общей группы конденсаторов сразу к нескольким потребителям со значительными индуктивными составляющими. В этом случае постоянная одновременная работа нескольких потребителей связана с циркуляцией суммарной реактивной энергии между потребителями и конденсаторами, как показано на рис. 1б.

Централизованная компенсация предполагает установку конденсаторов с регулятором в главном или групповом распределительном щите. Контроллер оценивает текущее потребление реактивной мощности в режиме реального времени, а также быстро подключает и отключает необходимое количество конденсаторов. В результате общая потребляемая от сети мощность всегда минимизируется в соответствии с мгновенным значением требуемой реактивной мощности, как показано на рис. 1в.

В случае централизованной компенсации конденсаторный блок оснащен специализированным контроллером (автоматическим регулятором реактивной мощности) и коммутационно-защитным оборудованием (контакторами и предохранителями). При отклонении значения  $\cos\varphi$  от заданного значения контроллер подключает или отключает определенные конденсаторные батареи (компенсация осуществляется поэтапно). Таким образом, управление осуществляется автоматически, а мощность подключенных конденсаторов соответствует реактивной мощности, потребляемой в данный момент времени,

что исключает генерацию реактивной мощности в сеть и появление перенапряжения в сети.



**Рисунок 1.** Компенсация реактивной мощности: а) индивидуальная компенсация реактивной мощности; б) групповая компенсация реактивной мощности, распределенная по электрощитовым; в) централизованная, установленная для всей подстанции

Каждый блок компенсации реактивной мощности включает в себя несколько ветвей конденсаторов, несколько каскадов, которые формируются индивидуально для конкретной энергосистемы в зависимости от предполагаемых потребителей реактивной мощности.

Основные преимущества использования конденсаторных установок:

- изменение реактивной мощности нагрузки в компенсированной сети автоматически контролируется и коэффициент мощности  $\cos\phi$  регулируется в соответствии с заданным значением;
- исключается генерация реактивной энергии в сеть (режим «перекомпенсации»);
- исключается появление в сети перенапряжения, т. к. нет перекомпенсации, возможной при использовании нерегулируемых конденсаторных установок;
- все основные параметры компенсированной сети визуально контролируются и отображаются на дисплее автоматического контроллера;
- контролируется режим работы и работа всех элементов конденсаторной батареи, в первую очередь конденсаторных батарей;
- предусмотрена система аварийного отключения конденсаторного агрегата и оповещения обслуживающего персонала;

— возможно автоматическое подключение отопления или вентиляции конденсаторного блока.

Таким образом, процесс компенсации реактивной мощности позволяет разгрузить сеть от чрезмерных перегрузок, повысить качество используемой электроэнергии и, соответственно, снизить затраты, снизив затраты на оплату энергоносителей.

### Список использованной литературы

1. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод; Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В. Н. Поляков; Под ред. И.Я. Браславского. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 256 с.
2. Бекишев Р.Ф. Общий курс электропривода: учебное пособие / Р.Ф. Бекишев, Ю.Н. Дементьев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. — 302 с.
3. Ильинский Н. Ф. Электропривод. Энерго- и ресурсосбережение: учеб. Пособие для студ. Высш. Учеб. Заведений/ Н. Ф. Ильинский, В. В. Москаленко. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 208 с.
4. Яни, А.В. Регулируемый асинхронный электропривод: Учебное пособие / А.В. Яни. — СПб.: Лань, 2016. — 464 с.

### References

1. Braslavsky I. Ya. Engergosberegayushchy asynchronous electric drive; Textbook. posobie for students. — higher. studies. institutions / I. I. Braslav, Z. sh. Ishmatov, V. N. Poles; ed. by I. J. Braslavsky. M.: Publishing center “Academy”, 2004.-256с.
2. Bekishev R. F. General course of the drive: tutorial / R. F. Bekishev, Yu. N. Dementiev; national research Tomsk Polytechnic University. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2010, 302 p.
3. Ilyinsky N. F. Electric drive. Energy and resource saving: studies. Manual for students. Higher. Studies. Moscow: Publishing center “Academy”, 2008. — 208s.
4. Yani, A.V. Adjustable asynchronous electric drive: Textbook / A.V. Yani. — St. Petersburg: Lan, 2016. — 464 p.

УДК 621.31

*Ермакова Е.Н., Евдокимов А.А., Вычужанин А.С.*

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

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ БИО-ТЭС

г. Сургут

**Аннотация.** Надежность электроснабжения является ключевым фактором, влияющим на качество жизни населения страны. Гарантировать надежность электроснабжения может только централизованное электроснабжение, которое нет возможности организовать на быстроразвивающихся отдаленных и труднодоступных территориях. В данной статье рассматриваем внедрение торфяных электростанций в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре.

**Ключевые слова:** *показатели надежности, децентрализованное электроснабжение, удаленные потребители.*

*Ermakova E.N., Evdokimov A.A., Vychuzhanin A.S.*

Surgut State University, Surgut

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF POWER SUPPLY TO REMOTE CONSUMERS BY THE EXAMPLE OF BIO-TPP

Surgut

**Abstract.** The reliability of electricity supply is a key factor affecting the quality of life of the country's population. Only centralized power supply can guarantee the reliability of power supply, which is not possible to organize in rapidly developing remote and hard-to-reach areas. In this article, we consider the introduction of peat power plants in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Ugra.

**Keywords:** *reliability indicators, decentralized power supply, remote consumers.*

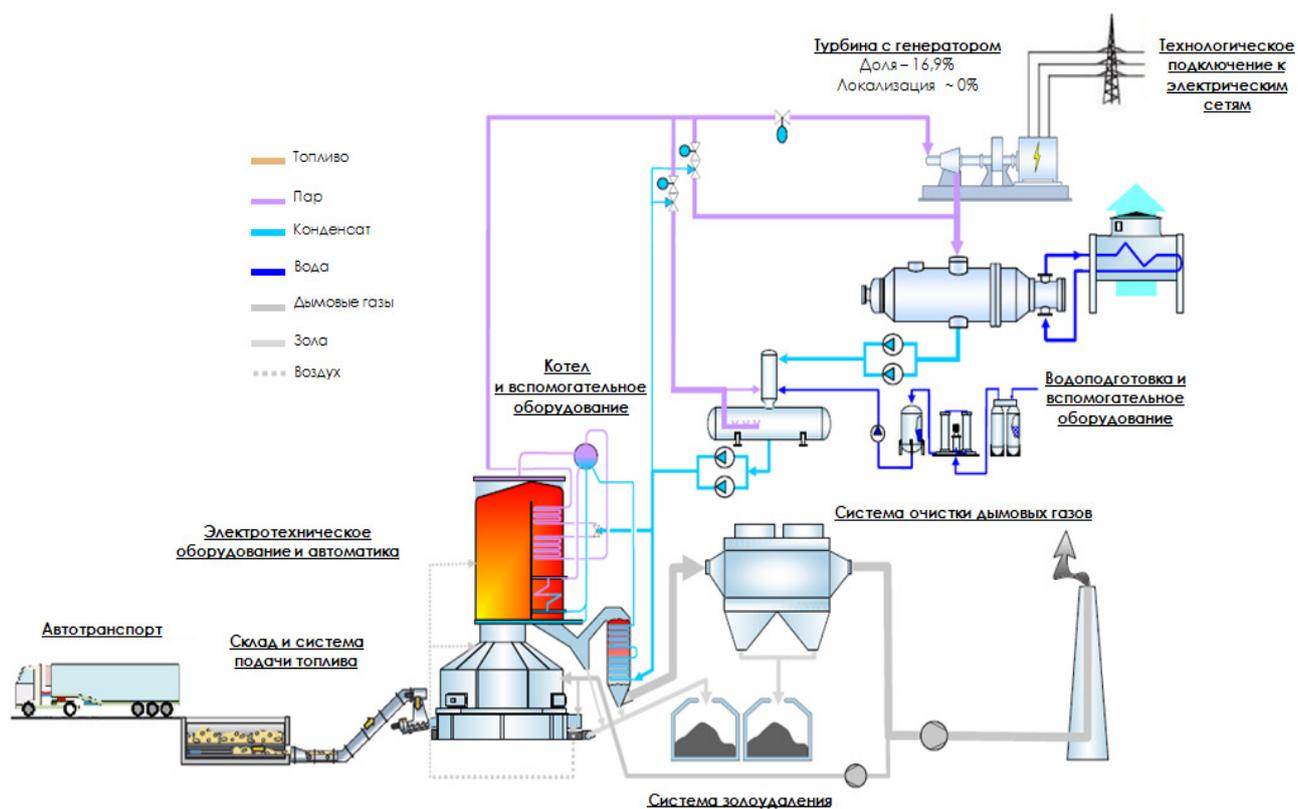


Рисунок 1. Схема установки БИО-ТЭС

Российская Федерация взяла направление на максимальное эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для повышения качества жизни населения страны, устойчивого роста экономики, а также укрепление внешнеэкономических позиций. В соответствии с Федеральным законом №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [2] и с госпрограммой «Развитие энергетики» до 2024 года [3], а также в соответствии с программой развития электроэнергетики Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2025 года, утвержденной Губернатором Ханты-Мансийского автономного округа — Югры Н.В. Комаровой[1].

В состав электроэнергетической системы Ханты-Мансийского автономного округа входят энергосистемы Тюменской области, Ямало-Ненецкого автономного округа и сам Ханты-Мансийский автономный округ, так же имеет электрические связи с Томской и Свердловских областей. На территории ХМАО питание некоторых удаленных районов осуществляется изолированно от Единой энергетической системы России. Село Сосьева, Березовского района, относится к муниципальному образованию автономного округа, питание которого осуществляется изолированного от ЕЭС, от 3 основных дизель генераторов и 1 резервного с суммарной мощностью 3,2 МВт.[4]

Дизельные электростанции являются ненадёжным, потому что полностью зависят от поставок топлива. Слаборазвитая транспортная инфраструктура и дороговизна топлива делает такой способ экономически не оправданным. К тому же использование ДЭС не гарантирует круглосуточное энергоснабжение, из-за ограниченности моторесурса (увеличение скорости износа движущих частей, при нагрузке менее 30% номинальной мощности заложенной заводом изготовителем). В связи с этим, продолжительность работы ДЭС составляет 6-8 часов в сутки. Но главный недостаток ДЭС, это её неэкологичность, причина тому вредные выбросы в атмосферу, полученные при сжигании топлива и неприятный запах от отработанного топлива. Нельзя забывать, что ДЭС требует высоких эксплуатационных затрат на обслуживание и ремонт, проводимые квалифицированными работниками.[5]

Торфяные БИО-ТЭС являются обоснованной альтернативой, потому что в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре большие залежи торфа, около 35% от общей площади.[6]

На рисунке 1 представлена схема установки торфяной БИО-ТЭС.

В состав оборудования БИО-ТЭС входит:

- склада типа «живое дно» (подвижный пол), который расположен на площадке ТЭС;
- паровой котел, работающий по технологии сжигания в кипящем слое;
- питательный насос;
- трубная система;
- турбоагрегат (паровая турбина, электрогенератор, возбуждатель);
- конденсатор;
- деаэрационная установка;
- дымосос;
- система газоочистки.

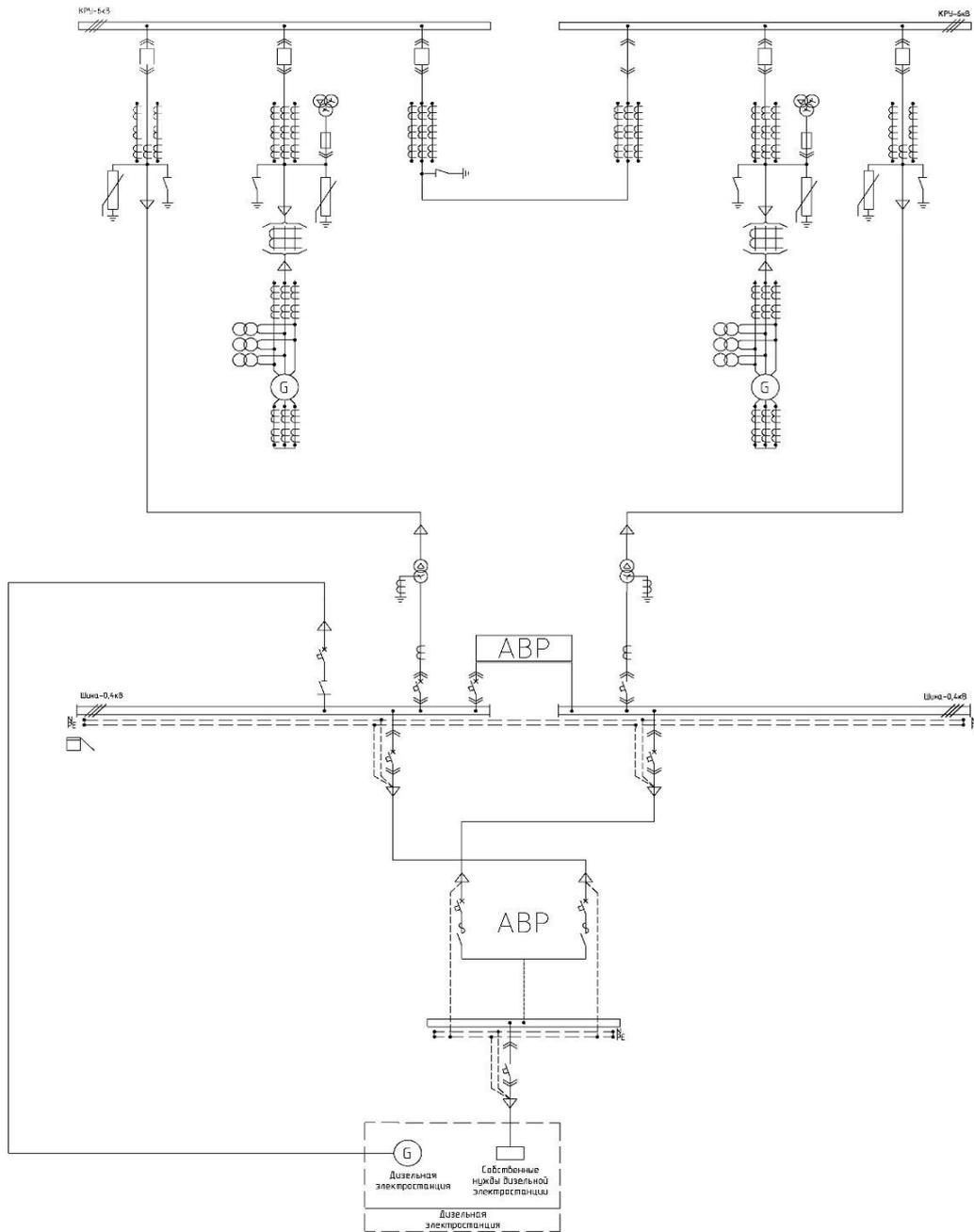
На рисунке 2 представлена схема электроснабжения БИО-ТЭС.

Торфяная БИО-ТЭС предназначена для выработки электрической и тепловой энергии с целью электро- и теплоснабжения села Совьева, Березовского района.

БИО-ТЭС состоит из 2 энергоблоков. Электроснабжение низковольтных общестанционных потребителей электроэнергии вне главного корпуса БИО-ТЭС выполняется от трансформаторов общестанционных собственных нужд 6,3/0,4 кВ.

В качестве аварийного источника питания потребителей электроэнергии БИО-ТЭС используется дизельная электростанция.

Для БИО-ТЭС на кафедре «Радиотехники и электроэнергетики» Политехнического института, разрабатывается экспериментально-лабораторная установка электрического генератора. Разрабатываемый генератор предназначен для преобразования механической энергии пара в электрическую.



**Рисунок 2.** Схема электроснабжения БИО-ТЭС

Вопрос об использовании возобновляемых источников энергии в качестве источника энергии становится все острее, потому что потребности в электроэнергии неумолимо растут. Цены на уголь, нефть и газ растут с каждым днем, из-за исчерпаемости данных ресурсов и их труднодоступности. Так же не для всех регионов экономически выгодно использовать возобновляемые источники энергии, такие как энергия солнца, ветра, воды и т.д. Для Ханты Мансийского автономного округа, где около 35% площади занимает торф, оправдано использование торфяных электростанций.

## Список литературы

1. Схема и программа развития электроэнергетики Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2025 года. — 26с. [Электронный ресурс]. — URL: <https://depjkkе.admhmao.ru/deyatelnost/energetika/elektroenergetika/ob-utverzhdennii-skhemu-i-programmy-razvitiya-elektroenergetiki-khanty-mansiyskogo-avtonomnogo-okruga/sipr-na-period-do-2025-goda/4529508/skhemu-i-programma-razvitiya-elektroenergetiki-khanty-mansiyskogo-avtonomnogo-okruga-yugry-na-period/> (дата обращения:16.04.2021)
2. Федеральный закон от 23 ноября 2009г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»// Государственная дума РФ.-11.11.2009 . [Электронный ресурс]. — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/)(дата обращения:16.04.2021)
3. Государственная программа Российской Федерации «Развитие энергетики». [Электронный ресурс]. — URL: <https://minenergo.gov.ru/node/323>(дата обращения:16.04.2021)
4. Е.Н.Соснина, А.Ю.Кечкин, Д.А.Филатов Вопросы электроснабжения потребителей, удаленных от сетевой инфраструктуры // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева №5(107)-100с.». [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2014/05/100-105.pdf> (дата обращения:16.04.2021)
5. Фишма В.С. Электроснабжение удаленных маломощных потребителей проблемы и решения// Новости электротехники — 2014 — 5(89). [Электронный ресурс]. — URL: <http://news.elteh.ru/arh/2014/89/05.php>(дата обращения:16.04.2021)
6. Гибридные системы электроснабжения для удаленных поселков [Электронный ресурс]. — URL: [https://www.solarhome.ru/basics/autonom/hybrid\\_village.htm](https://www.solarhome.ru/basics/autonom/hybrid_village.htm)(дата обращения:16.04.2021)

УДК 621.316

*Иванов М.Н., Косенко Р.Б.*

СГУВТ, г. Новосибирск

## БАЛАНСИРОВКА РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ВЕНТИЛЯТОРА ВОЗДУХА КАРУСЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

г. Новосибирск

**Аннотация.** Целью исследования является повышение эффективности работы вентиляторной установки. Рассмотрены причины вибрации. Вибрационное состояние объекта оценено виброперемещением в вертикальном и поперечном направлениях. Представлены результаты вибробалансировки электродвигателя вентилятора воздуха карусельной печи.

**Ключевые слова:** *вибросостояние, вибробалансировка, вибродиагностика, виброанализатор.*

*Ivanov M.N., Kosenko R.B.*

SSUWT, Novosibirsk

## ELECTRIC MOTOR ROTOR BALANCING CAROUSEL OVEN AIR FAN

Novosibirsk

**Abstract.** The aim of the study is to improve the efficiency of the fan installation. The reasons for vibration are considered. The vibrational state of the object was estimated by vibration displacement in the vertical and transverse directions. The results of vibration balancing of the rotary kiln air fan electric motor are presented.

**Key words:** *vibration condition, vibration balancing, vibration diagnostics, vibration analyzer.*

Вибрация является одной из основных причин разрушения опорных узлов роторов, роторных машин и кинематически связанных с ней узлов и агрегатов.

Требования обеспечения комплексной безразборной оценки технического состояния машин и механизмов в рабочих условиях выдвигают на передний план именно методы вибродиагностики, как наиболее чувствительные к различным

отклонениям параметров технического состояния от нормы. Вибродиагностика решает задачи по выявлению причин повышенного уровня вибрации агрегатов и обнаружению скрытых дефектов конструкций [1].

В настоящее время, ряд российских и зарубежных фирм разрабатывают и производят оборудование для измерений и обработки виброакустических сигналов. Имея общее назначение, эти приборы значительно отличаются техническими характеристиками. Наиболее известными виброанализаторами являются: «ПР-200А», «Топаз», «АУ-014», «СК-2300», «СД-12», «СМ-3001», «ДСА-2001», «Корсар+», «Диана-С», «Диана-2М» и «Атлант-8», «ВИК».

Перечисленные приборы являются автономными микропроцессорными переносными виброанализаторами, которые позволяют измерять, обрабатывать, хранить и визуализировать измеренную виброакустическую информацию.

В зависимости от протекающих в электрических машинах физических процессов, вызывающих те или иные вибрации, причины последних можно разделить на механические, электромагнитные и аэродинамические [1].

К механическим причинам можно отнести неуравновешенность вращающейся части, ненормальности линии вала, плохая установка машины на фундаменте, двойная жёсткость ротора, дефекты подшипников и т.д.

Электромагнитными причинами могут являться: несимметрия воздушных зазоров, витковые замыкания в обмотках роторов [2], неудачные распределением обмотки статора и т.п.

Аэродинамические причины, также являются механическими, так как они связаны с упругими колебаниями-волнами в газообразной среде (например, вихреобразование в проточных частях машины) [3].

Для оценки вибрационного состояния электрических машин широко используется параметр виброперемещение, который является простой и наглядной характеристикой колебаний машины. Особенно удобно пользоваться этим параметром, когда формы вибрации близки к гармоническим, что характерно для крупных электрических машин с подшипниками скольжения.

Для исследования был выбран электродвигатель вентилятора разжижения горячего воздуха карусельной печи ВУ-1-2, имеющий скорость вращения 3000 об/мин. Балансировка производилась на месте установки агрегата.

Во время балансировки машины измеряем величину вибрации и угол сдвига фаз на частоте вращения ротора. Оценку амплитуды колебаний производим в линейных единицах, так как логарифмические единицы измерения амплитуды использовать при балансировке нельзя.

В качестве измеряемого параметра вибрации используем вибросмещение и фазу. Нам необходимо знать не абсолютное значение фазы, а значение изменения, рассчитанное относительно исходного пуска.

Вибрационное состояние исследуемого объекта оценено виброперемещением, выраженным в вертикальном и поперечном направлениях. Параметры исходного состояния электрической машины приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Исходное вибрационное состояние

Виброперемещение	Подшипник № 1	Подшипник № 2	Подшипник № 3	Подшипник № 4
Вертикальное, мкм	222,4	128,5	272,4	352,5
Поперечное, мкм	79,97	90,21	81,83	136,8

Правила технической эксплуатации электроустановок в пункте 5.2.10 устанавливают норму вибрации для электродвигателей и механизмов, приводимых этими двигателями в движение, при скорости вращения 3000 об/мин — не более 50 мкм. На исследуемом объекте вибрация превышает нормируемое значение. Выявлена основная причина вибрации — небаланс на рабочем колесе вентиляционной установки.

Для устранения причин вибрации и динамической балансировки электродвигателя определены исходные параметры для подшипника № 4. При нулевом пуске виброперемещение в вертикальном направлении составляет  $280^{\circ}10''$ .

Балансировку производили установкой уравнивающих грузов в несколько этапов. На первом этапе установлен пробный груз  $P = 0,02$  кг на угол  $+280^{\circ}$ . Параметры виброперемещения в вертикальном направлении составили  $170^{\circ}50''$ . В последующих этапах установлены: уравнивающий груз  $P = 0,02$  кг на угол  $+350^{\circ}$  и корректирующий груз  $P = 0,01$  кг на угол  $+20^{\circ}$ . Параметры виброперемещения в вертикальном направлении после размещения уравнивающего груза составили  $60^{\circ}50''$ .

В результате проведённой балансировки вибрация снизилась до нормируемого уровня. Результаты балансировки приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Вибрационное состояние после балансировки

Виброперемещение	Подшипник № 1	Подшипник № 2	Подшипник № 3	Подшипник № 4
Вертикальное, мкм	25	25	46	30
Поперечное, мкм	23	24	32	22

Проведенные исследования позволили выявить объекты повышенного шума и вибрации и обеспечить нормируемые значения, установленные Правилами технической эксплуатации электроустановок.

### Список литературы

1. Азовцев Ю.А., Баркова Н.А., Гаузе А.А. Вибрационная диагностика роторных машин и оборудования целлюлознобумажных комбинатов: учебное пособие. СПб: СПб, ГТУ, 2014. — 127 с: ил. 77.
2. Иванова Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова, под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. — Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2006. — 432 с.
3. Данилов Г.А. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г.А. Данилов, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов, Г.В. Ситников; под ред. В.П. Горелова, В.Г.Сальникова. — Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. — 559 с.

УДК 621.31

*Неизвестных М.А., Иванова Е.В.*

СГУВТ, г. Новосибирск

## МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА РОЗНИЧНОМ РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

г. Новосибирск

**Аннотация.** проведен анализ методов управления спросом розничных потребителей, которые могут сдвинуть свой график нагрузки за пределы максимума энергосистемы. Рассмотрены механизмы управления спросом на рынке электроэнергии.

**Ключевые слова:** *тарифы на электроэнергию, управление спросом, график нагрузки, агрегатор.*

*Neizvestnykh M.A., Ivanova E.V.*

SSUWT, Novosibirsk

## DEMAND CONTROL MECHANISMS RETAIL ELECTRICITY MARKET

Novosibirsk

**Abstract.** The analysis of the methods of managing the demand of retail consumers, which can shift their load schedule beyond the maximum of the power system, is carried out. The mechanisms of demand management in the electricity market are considered.

**Key words:** *electricity tariffs, demand management, load schedule, aggregator.*

Уникальность рынка электроэнергии, по сравнению с рынками других товаров или услуг, определяется двумя факторами: во-первых единством процесса производства и потребления энергии, что вытекает из её физической сути и невозможности накапливать и долго хранить электроэнергию в больших объемах. Во-вторых имеет место неэластичность спроса — потребление электроэнергии практически не зависит от цен на неё. Таким образом, на рынке складывается

ситуация при которой, покрытие пиковой мощности обеспечивается генерирующими предприятиями со сравнительно высокой себестоимостью производства [1]. Исходя из данного факта, себестоимость электроэнергии в моменты пиковых нагрузок возрастает, что не выгодно производителям, так как искажает общую ценовую картину на рынке. Выход из данной ситуации может обеспечить программа управления спросом на электроэнергию, которая предлагает снижение пиковой нагрузки и выравнивание графика потребления, из расчета того, что непотребленный киловатт-час равен по ценности произведенному.

Метод управления спросом Demand Response (DR) направлен на отказ от производства дорогой электроэнергии в пиковое время за счет договоренности с розничными потребителями, которые могут на определенное время снизить потребление, сдвинуть график за пределы суммарного по энергосистеме пика. Потребитель, который готов скорректировать свой график потребления, делает благое дело для энергосистемы в целом. Суть метода представлена графически на рисунке 1. Чтобы повысить заинтересованность, в некоторых зарубежных энергосистемах сложилась практика вознаграждения потребителя за сотрудничество в системе управления спросом в качестве регулируемой нагрузки. В этом и состоит суть управления спросом [1, 2].

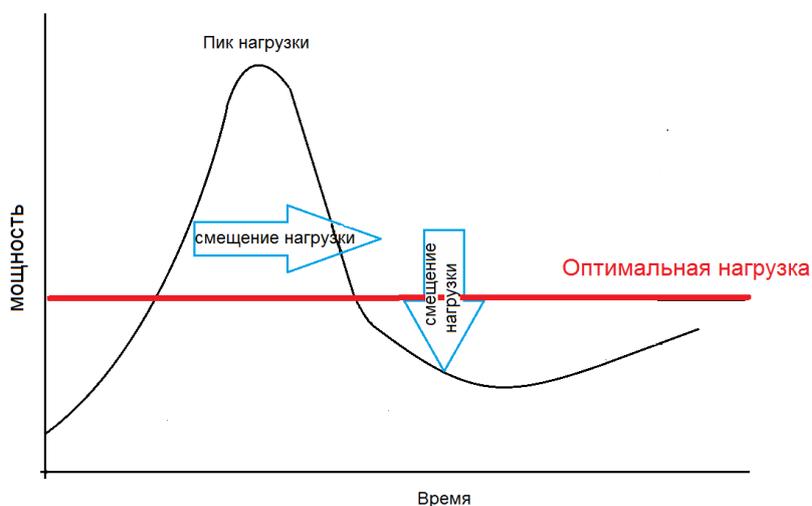


Рисунок 1. Управление спросом

Предпосылкой к созданию программ Demand Response явились энергетические кризисы 1970-х годов в США, результатом которых стал рост цен на ресурсы и электроэнергию. К середине 1980-х программы управления спросом работали почти во всех штатах Америки, что позволило снизить потребность в наращивании мощностей, а так же строительстве новых линий электропередачи. До настоящего времени основные доходы от программ управления спро-

сом приходится на промышленный сектор, так же активными участниками становятся и коммунальные предприятия, жилой сектор. Общий эффект от реализации программ DR в США в 2016 году составил 39 ГВт [3]. Европейские развитые страны, столкнувшиеся с дороговизной электроэнергии, также активно внедряют эти технологии. Крупные агрегаторы спроса действуют во Франции, Великобритании, Бельгии, Германии, Австралии, Китае. В странах, где управление спросом развивается уже несколько лет, имеется наработанный опыт.

Некоторые поставщики услуг по управлению спросом являются агрегаторами управления спросом (Demand Response Aggregators): они заключают контракты напрямую с потребителями, а затем объединяют действия нескольких потребителей по управлению спросом в рамках одного пула с целью его продажи на рынке электроэнергии или другим участникам энергосистемы. Так, например, для участия в экономической программе управления спросом на северо-восточном американском рынке электроэнергии PJM Interconnection (далее — PJM) все местоположения участников в рамках одного пула агрегированной нагрузки должны иметь одного и того же оператора распределительных сетей и энергоснабжающее предприятие. Потребители и агрегаторы управления спросом (далее — ресурсы DR) могут принимать участие в деятельности рынков электроэнергии, мощности и системных услуг. Сегодня участие ресурсов DR в деятельности рынков разных стран мира зависит от уровня развития этих рынков, возможности доступа на них таких ресурсов и наличия соответствующих правил, регулирующих участие в них ресурсов DR. Так, например, в США (на рынках PJM, MISO и CAISO) ресурсы DR активно участвуют в рынках электроэнергии, мощности и системных услуг [4].

В Великобритании в операционной зоне системного оператора National Grid ресурсы DR имеют возможность участвовать в рынке системных услуг и недавно запущенном рынке мощности. Как и в США, к ним относятся предприятия и организации с большим уровнем энергопотребления, имеющие возможность снизить уровень нагрузки на энергосистему или быть отключенными на некоторое время, а также совокупность большого числа конечных потребителей с низким уровнем нагрузки, которые могут участвовать в рынке за счет использования агрегаторов нагрузки.

Управление спросом так же можно разделить на явное и неявное. Неявное управление спросом используется в тех случаях, когда потребители соглашаются на применение тарифов на электроэнергию, дифференцированных по времени потребления и отражающих стоимость электроэнергии и расходы, связанные с ее потреблением в разные периоды времени. При использовании схем явного управления спросом (иногда называемого «на основе стимулов» или «на ос-

нове объема») результат действий по управлению спросом продается на рынке электроэнергии заранее, иногда напрямую крупными промышленными потребителями или через поставщиков услуг по управлению спросом. Потребители получают специальное вознаграждение за изменения в энергопотреблении в ответ на соответствующий запрос, который вызван высокими ценами на электроэнергию, необходимостью в обеспечении гибкости энергосистемы организациями, ответственными за поддержание баланса энергосистемы, или перегрузками энергосистемы [4].

В настоящее время в России предпринимаются первые шаги по стимулированию потребителей к участию в повышении энергоэффективности, выравниванию графиков нагрузки не только за счет применения дифференцированных тарифных ставок, но и за счет участия в программах управления спросом [5].

В 2018 году АО «Концерном «Росэннегоатом», совместно с ОАО СО «ЕЭС» был разработан пилотный проект по привлечению юридических лиц к программе управления спросом, через агрегатора нагрузки дочернее общество «Атомэнергосбыт». Агрегатор, в данном случае — это участник оптового рынка электроэнергии, который управляет изменением нагрузки группы потребителей, чтобы продавать совокупность регулировочных способностей этих потребителей. Агрегатор занимается поиском потребителей, способных без ущерба для технологического цикла изменять потребление, проводит оценку возможностей разгрузки, разрабатывает алгоритмы участия в программах управления спросом, заключает договоры с потребителями. Затем агрегатор обеспечивает управление процессом — получает сигналы на изменение потребления от инфраструктурных организаций, распределяет объем разгрузки между потребителями и информирует их по технологическим каналам. После того как нагрузка потребителя снижается на заданный интервал времени, агрегатор получает на рынке электроэнергии и мощности оплату за снижение потребления электроэнергии. А потребитель получает оплату услуг по изменению потребления от агрегатора [5].

По мнению ОАО СО «ЕЭС» программа доступна для всех категорий потребителей от крупных промышленных предприятий, до бытовых потребителей. Разумеется, уровень изменения спроса напрямую зависит от технологических возможностей потребителя, они сами могут смещать график нагрузки, снижать интенсивность производственного процесса, управлять системами освещения и нагрева воды, а также использовать собственные генерирующие мощности и накопители энергии. В общем случае потребители не снижают уровень потребления, а перераспределяют нагрузку в течение суток, смещаясь на непиковые периоды. Краткосрочный эффект программы выражается в снижении цены

на электроэнергию на оптовом рынке, в долгосрочной же перспективе это позволит избежать введения новых дорогостоящих мощностей для преодоления пиковых нагрузок. С точки зрения экологии — пиковая генерация, будучи наиболее «дорогой» с экономической точки зрения, зачастую бывает и наиболее загрязняющей окружающую среду. Управление спросом может существенно снизить выбросы пиковых электростанций [5].

Концерн «Росэнергоатом» оценивает, что потенциал управления спросом для единой энергетической системы России (в ценовых зонах) может составить 6–10 ГВт для первой ценовой зоны и 2–3 ГВт для второй ценовой зоны, суммарно до 13 ГВт. В соответствии с постановлением Правительства РФ от 20.03.2019 № 287 запланировано проведение новых проектов по функционированию агрегаторов управления спросом на электрическую энергию в ЕЭС России, в ходе которых агрегаторы управления спросом будут работать на рынке услуг по обеспечению системной надежности [5].

На сегодняшний момент, программа управления спросом на розничном рынке электроэнергии запущена в пилотном режиме. Потребителям предлагаются безрисковые условия: выполнение разгрузок по команде оператора не более 5 раз в месяц на период 2 или 4 часа, выполнение разгрузок только в рабочие дни, возможность установления режима неготовности, отсутствие штрафных санкций, а также вознаграждение, размер которого на 2020 год составлял 320 000 рублей за 1 МВт мощности в месяц. Агрегатор (АО «Атомэнергосбыт») оказывает консультационные услуги, помогает проводить анализ энергопотребления предприятий, выбирать оптимальный состав и общую мощность разгружаемого оборудования [5].

До завершения пилотной стадии программы рано говорить о каких-либо итогах, но зарубежный опыт, а также мнения экспертов ОАО СО «ЕЭС», позволяют давать оптимистические прогнозы развития программ управления спроса в будущем.

### Список литературы

1. Атомэнергосбыт: спрос — дело управляемое. — М.: изд. АО ФИД «Деловой экспресс», журн. РЭА, №2, 2019, с. 16-19
2. Нехороших И.Н. и др. Мировая практика по управлению спросом на электроэнергию. — Экономика в промышленности, 2019, Том 12, № 3, с. 280-287
3. Непомнящий В.В. Применение технологии управления спросом на электроэнергию. — Цифровая подстанция, 2019 // <https://digitalsubstation.com/blog/2019/11/07/primenenie-tehnologii-upravleniya-sprosom-na-elektroenergiyu/>

4. Сидоровская Н. Управление спросом на мировых рынках электроэнергии. — М.: изд. РБЦ, журн. Энергорынок, №7 (132). 2015, с. 28-34.
5. Кулешов М.А. Агрегаторы управления спросом: новые возможности для потребителей розничного рынка электроэнергии. — М.: изд. Альмега, журн. Точка опоры, №247, 2018.

УДК 621.3

*Денчик Ю.М.<sup>1</sup>, Иванова Е.В.<sup>1</sup>, Иванов Д.М.<sup>1</sup>, Палагушкин Б.В.<sup>1</sup>, Романов М.Н.<sup>1</sup>, Сальников В.Г.<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

## ВЛИЯНИЕ КОНДУКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПО НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ВИБРАЦИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ДЛИННЫМ РОТОРОМ

г. Сургут

**Аннотация.** Современное развитие различных отраслей промышленности и транспорта характеризуется ростом мощностей электроустановок с несимметричной нагрузкой и числом однофазных электрических приёмников электрической энергии первой и второй категорий по надёжности электроснабжения. Кондуктивная низкочастотная ЭМП как фактор влияния несимметрии линейных напряжений в питающей сети на вибрацию машин с длинными роторами, угроза эффективному использованию электрической энергии. Несимметрия линейных напряжений в электрической сети обуславливает электромагнитное поле обратной последовательности, которое вращается с синхронной скоростью в сторону, противоположную вращению ротора. Возникающие при этом токи двойной частоты приводят к дополнительному нагреву ротора и синхронной машины в целом.

**Ключевые слова:** кондуктивная электромагнитная помеха, вибрация, электрическая машина с длинным ротором, электроэнергетическая система, прямая последовательность, обратная последовательность, мощность, электромагнитный момент.

*Denchik Y.M.<sup>1</sup>, Ivanova E.V.<sup>1</sup>, Ivanov D.M.<sup>1</sup>, Palagushkin B.V.<sup>1</sup>, Romanov M.N.<sup>1</sup>,  
Salnikov V.G.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk

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

# INFLUENCE OF CONDUCTIVE ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE ON THE VOLTAGE ASYMMETRY ON THE VIBRATION OF ELECTRIC MACHINES WITH A LONG ROTOR

Surgut

**Abstract.** The modern development of various industries and transport is characterized by an increase in the capacity of electrical installations with an asymmetric load and the number of single-phase electric receivers of electric energy of the first and second categories for the reliability of power supply. Conductive low-frequency EMF as a factor in the influence of line voltage asymmetry in the supply network on the vibration of machines with long rotors, a threat to the effective use of electrical energy. The asymmetry of the linear voltages in the electrical network causes the electromagnetic field of the reverse sequence, which rotates at a synchronous speed in the direction opposite to the rotation of the rotor. The resulting double-frequency currents lead to additional heating of the rotor and the synchronous machine as a whole.

**Keywords:** *conductive electromagnetic interference, vibration, long rotor electric machine, electric power system, forward sequence, reverse sequence, power, electromagnetic moment.*

Интенсивное освоение северных месторождений углеводородного сырья необходимо осуществлять с учётом требований «Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации», утверждённой Указом Президента РФ от 13.05.2019 г. № 216. К рискам, связанными с внутренними вызовами и угрозами энергетической безопасности, отнесены: увеличение транспортных расходов и капитальных затрат организаций при освоении нефтегазовых месторождений, находящихся в удалённых местностях.

Эффективное выполнение этого директивного документа возможно на основе полной электрификации: месторождений полезных ископаемых; портов, причалов и перегрузочных терминалов; инфраструктуры прибрежных территорий. Электрификация условно разделяется на потребление электроэнергии и на электроснабжение. В силу удалённости указанных объектов электроснабжение возможно по замкнутым электрическим сетям 6–35 кВ, получающим питание от электростанций собственных нужд различных типов [1]. Основной расход электроэнергии в этих сетях осуществляется в узлах сети с электродвигательной нагрузкой (УН).

Современное развитие различных отраслей промышленности и транспорта характеризуется ростом мощностей электроустановок с несимметричной нагрузкой

и числом однофазных электрических приёмников электрической энергии первой и второй категорий по надёжности электроснабжения [1]. Эта тенденция развития и наличие объективно возникающих неполнофазных режимов оборудования обуславливают неуравновешенный режим работы трёхфазной системы электроснабжения [1]. Рассмотрим этот электромагнитный процесс с позиции повышения надёжности работы УН и электроприводов машин с длинными роторами.

По данным [3] ротор определяется как часть машины вращающийся с большим центростремительным ускорением на поверхности. Роторы машин практически всегда имеют простую симметричную форму, для которой положение осей инерции определяется с большой точностью. Тем не менее, даже небольшое отклонение оси вращения от оси инерции приводит к вибрации ротора и всей машины. Например, ротор электродвигателя массой  $m=100$  кг вращается со скоростью  $\omega=314$  рад/с. Если ось вращения сместить на  $e=1$  мм, то сила инерции будет равна [2]

$$F_u = me\omega^2 = 100 \cdot 0,001 \cdot 314^2 = 10000 \text{ Н.} \quad (1)$$

Сила, равная весу ротора, вызовет сильнейшую вибрацию подшипников и всей машины. Очевидно, что в симметричном относительно оси вращения роторе практически все силы взаимно уравновешиваются.

Роторы искусственно разделяют на длинные и короткие, которые определяются по формуле [2]

$$l = \frac{\sqrt{3}}{2} d = 0,866 \cdot d, \quad (2)$$

где  $d$  — диаметр ротора, м. Если ротор короче указанной длины, то он короткий, если длиннее, то он длинный [2].

Для уяснения механизма влияния режима работы электрической сети на вибрацию технологических механизмов с длинными роторами осуществим анализ результатов исследования этого явления. Параметрами, характеризующими работу электрических сетей в каждом отдельном режиме и в каждом отдельном узле нагрузки, являются частота, мощность и напряжение. Трёхфазные системы классифицируют на уравновешенные и неуравновешенные.

В уравновешенной системе мгновенная мощность не зависит от времени, а в неуравновешенной системе мгновенная мощность является функцией времени [3, 4]. Трёхфазная система при симметрии напряжений и равномерной нагрузке фаз, т.е. при симметрии также и токов, является уравновешенной. Пусть к однофазной цепи подведено напряжение  $u = U_m \sin \omega t$  и течёт ток,  $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$  тогда мгновенная (полная) мощность определяется формулой [4]

$$S = u \cdot i = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t - \varphi), \quad (3)$$

где  $U_m, I_m$  — соответственно, амплитудное значение напряжения и тока В, А;  $U, I$  — действующие значения напряжения и тока;  $\varphi$  — угол сдвига фаз между напряжением и током;  $\cos \varphi$  — коэффициент мощности.

Для трёхфазной системы имеем

$$S = 3 \cdot u \cdot i = 3UI \cos \varphi - 3UI \cos(2\omega t - \varphi) = 3UI \cos \varphi, \quad (4)$$

так как  $3UI \cos(2\omega t - \varphi) = 0$ , потому что изображая слагаемые этой суммы векторами, получаем симметричную звезду [3].

В комплексной форме записи это уравнение имеет вид

$$\tilde{S} = 3\hat{U}\hat{I} = 3UIe^{i\varphi} = 3UI \cos \varphi + j3UI \sin \varphi = P + jQ = const, \quad (5)$$

где  $\tilde{S}$  — комплекс полной мощности, В·А;  $\hat{U}$  — комплекс напряжения, В;  $\hat{I}$  — сопряжённый комплекс тока, А;  $P = Re 3\hat{U}\hat{I}$  — действительная часть произведения  $3\hat{U}\hat{I}$  (активная мощность, Вт);  $Q = Im 3\hat{U}\hat{I}$  — мнимая часть этого произведения (реактивная мощность В·Ар).

Из (5) вытекает, что активная мощность в течение периода в трёхфазной уравновешенной системе не изменяется. Это обстоятельство является очень важным для работы электрических машин, потому что активная мощность электродвигателей превращается в механическую на валу рабочей машины. Если рассматривать в качестве элемента сети генератор, то постоянство активной мощности для генератора означает её неизменность и для турбины с длинным ротором. При этом: электромагнитный момент электрической машины также не изменяется; вибрация длинного ротора минимальна, так как негативное воздействие неравномерности электромагнитного момента отсутствует.

В связи с этим трёхфазные электрические сети подразделяются на статические и нестатические. К статическим относятся сети, не содержащие вращающихся электрических машин. В них не наблюдается значительного влияния степени несимметрии напряжений на эквивалентные сопротивления фаз. Нестатические сети (с вращающимися электрическими двигателями) характеризуются зависимостью эквивалентных сопротивлений фаз от степени несимметрии [3,4].

Для расчёта несимметричных режимов работы любых трёхфазных электрических сетей применяется метод симметричных составляющих, основанный на разложении существующего в цепи несимметричного режима на три симметричных с различным чередованием фаз напряжений и токов (прямой, обратной, нулевой последовательностей) [1]. Вместо одного несимметричного режима рас-

считывают три симметричных с последующим применением метода наложения для нахождения результирующих токов и напряжений, существующих в реальной трёхфазной цепи [4].

В несимметрии линейных напряжений нулевая последовательность отсутствует, присутствуют прямая и обратная последовательности. Это определяет область исследования. Прямая последовательность является симметричной и характеризуется стабильностью активной мощности. Обратная последовательность также является симметричной, но вносит в энергетические процессы трёхфазной сети электромагнитные помехи в виде пульсирующей мощности.

В общем мгновенная мощность трёхфазной системы при несимметричном линейном напряжении определяется также как при симметричном напряжении суммой мгновенных значений отдельных фаз (5). Однако, в отличие от симметричной системы напряжений  $3UI \cos(2\omega t - \varphi) \neq 0$ . Это неравенство представляется как источник мощности обратной последовательности (пульсирующей мощности). Трёхфазная система в этом режиме напряжений является неуравновешенной.

В комплексной форме записи пульсирующая мощность представляется выражением

$$\tilde{N} = 3\dot{U}_2 \hat{I}_2 e^{j2\omega t} = \operatorname{Re} N e^{j2\omega t} + \operatorname{Im} N e^{j2\omega t} = P_n + jQ_n, \quad (6)$$

где  $\tilde{N}$  — комплекс полной мощности, В·А;  $\dot{U}_2$  — комплекс напряжения обратной последовательности, В;  $\hat{I}_2$  — сопряжённый комплекс тока обратной последовательности, А;  $2\omega t = 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f = 6,28 \text{ рад/с}$ ;  $f = 50 \text{ Гц}$  — частота переменного тока;  $P_n$  — активная составляющая пульсирующей мощности, Вт;  $Q_n$  — реактивная составляющая, В·Ар;  $N = 3\dot{U}_2 \hat{I}_2$ .

Составляющие  $P_n$  и  $Q_n$  пульсирующей мощности изменяются от 0 до  $|N|$  в соответствии с изменяющимся значением  $2\omega t$ . С учётом изложенного, мгновенное значение активной мощности при несимметрии линейных напряжений в трёхфазной системе представляется выражением

$$P_{\text{нес}} = \operatorname{Re} \left( S - N e^{j2\omega t} \right) \quad (7)$$

Следовательно, несимметрия линейных напряжений в электрической сети (на выводах синхронного генератора) обуславливает электромагнитное поле обратной последовательности, которое вращается с синхронной скоростью в сторону, противоположную вращению ротора. Поэтому обмотки ротора и все его элементы пересекаются полем обратного вращения и во всех элементах ротора, включая обмотку, наводятся электродвижущиеся силы с частотой 100 Гц.

Возникающие при этом токи двойной частоты приводят к дополнительному нагреву ротора и синхронной машины в целом. Допустимость несимметричных режимов определяется допустимой температурой для данного класса изоляции ротора и статора генератора [3].

Дополнительные потери активной мощности, обусловленные несимметрией, определяются выражением [3]

$$\Delta P = K_{2U}^2 \frac{\Delta P_{\text{он}}}{Z_2^2} \quad (8)$$

где  $K_{2U}$  — коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, о.е;  $\Delta P_{\text{он}}$  — потери при токе обратной последовательности, равном номинальному, Вт;  $Z_2$  — сопротивление обратной последовательности синхронной машины, Ом.

Общий электромагнитный момент электрической машины, состоящий из электромагнитных моментов прямой и обратной последовательностей, не остаётся неизменным. Изменяется вращающий момент на валу машины. Появляется дополнительная вибрация, обусловленная активной мощностью  $Re(-N \cdot e^{j2\omega t})$ .

Неблагоприятным оказывается воздействие несимметрии линейных напряжений на работу асинхронных двигателей. Увеличиваются потери на величину  $\Delta P_{\text{АД}}$ , обусловленные несимметрией напряжений,

$$\Delta P_{\text{АД}} = 2,41 \Delta P_{\text{М.Н.}} \cdot K_n^2 \cdot K_{2U}^2 \quad (9)$$

где  $\Delta P_{\text{М.Н.}}$  — номинальные потери в меди статора двигателя, Вт;  $K_n$  — кратность пускового тока.

Возникает ударный тормозной электромагнитный момент за счёт активной мощности обратной последовательности. Уменьшается вращающийся момент на величину [3]

$$\alpha \approx K_{2U}^2 \quad (10)$$

Расчёты показывают, что при работе электродвигателя с номинальным вращающим моментом при несимметрии  $K_{2U} = 4\%$  срок службы изоляции сокращается примерно в 2 раза [1, 3].

Таким образом, ожидаемая электромагнитная обстановка (ЭМО) в электрических сетях удалённых местностей, обусловленная несимметрией линейных напряжений, как совокупность электромагнитных явлений и процессов представляется сложной. Требуется предусматривать постоянный мониторинг за показателем несимметрии  $K_{2U}$ , как вызовом угрозы нарушения режимов работы

механизмов с длинными роторами и неэффективным использованием электрической энергии, а те же мероприятия, обеспечивающие способность электрооборудования нормально функционировать в заданной ЭМО.

В итоге можно сделать следующие выводы:

1. Кондуктивная низкочастотная ЭМП  $\delta K_{2U}$  представлена как: основной фактор влияния несимметрии линейных напряжений в питающей сети на вибрацию машин с длинными роторами, угроза эффективному использованию электрической энергии.

2. Кондуктивная низкочастотная ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности  $\delta K_{2U}$  как одна из физических величин, характеризующих электромагнитный процесс в трёхфазных системах при возникновении несимметрии (в условиях вопроса), обладает следующими свойствами:

- является стохастической величиной, определяемой путём математической обработки результатов измерений измерительно-вычислительными комплексами или другими поверенными приборами значений коэффициентов  $K_{2U_i}$  (усреднённых в интервале 10 мин) за расчётный период, равный времени интервала в одну неделю (168 ч непрерывного измерения);
- является локальным параметром ЭМО в электроэнергетической системе (наблюдается в основном в сетях среднего и низкого напряжений);
- характеризуется интегральной функцией распределения (плотностью вероятности распределения, математическим ожиданием, средним квадратическим отклонением) и вероятностью появления за расчётный период наблюдения, учитывающей допустимую вероятность отклонения  $K_{2U}$  от нормированного (согласованного) значения; область определения этой функции формирует совокупность значений  $K_{2U_i}$  поля событий за неделю;
- имеет следующие параметры распределения:  $M[\delta K_{2U}]$  — математическое ожидание, %;  $\sigma[\delta K_{2U}]$  — среднее квадратическое отклонение, %;  $P[\delta K_{2U}]$  — вероятность появления за расчётный период, о.е.;
- распространяется по каналу гальванической связи: по силовым цепям линий электропередачи (проводам ВЛ, жилам КЛ, шинам РП и т.д.);
- имеет широкую область распространения в ЭЭС, зависящую от вида несимметрии напряжений.

### Список литературы

1. Данилов, Г.А. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г.А. Данилов, Ю.М.Денчик, М.Н.Иванов, Г.В.Ситников; под ред. В.П.Горелова, В.Г.Сальникова: — Новосибирск: НГАВТ, 2013. — 559 с.

2. Барановский, А.М. Колебания в судовых механизмах: учебник / А.М. Барановский, Л.В. Пахомова, Ю.И. Ришко. — Новосибирск: СГУВТ, 2015. — 210 с.
3. Висящев, А.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах: учеб. для вузов /А.Н.Висящев. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. — 534 с.
4. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. — 4-е изд. /К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин, В.Л.Чечурин. — СПб.: Питер, 2003. — 463 с.: ил.

УДК 621

*Шарая С.Н., Сарбасова Н.Д.*

Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар. РК

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД В ЗАДАЧАХ О ВНЕЗАПНОМ НАГРЕВЕ НАРУЖНЫХ СТЕН СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

**Аннотация.** В работе рассматривается математический процесс, описываемый уравнением теплопроводности, а именно, распространение тепла плоской пластины, не имеющей внутренних источников тепла. Задача решается методом разделенных переменных. В результате исследования доказано, стены с более высоким коэффициентом теплопроводности имеют более короткое время нагрева

**Ключевые слова:** уравнение теплопроводности, метод разделенных переменных, обыкновенное дифференциальное уравнение, ряд Фурье, критерий Фурье, полином.

Существует обширный класс производственных задач, в том числе и в энергетике, в которых требуется предсказать характер распределения температуры в твердых телах внезапно нагреваемых или охлаждаемых.

В работе исследуется температурное поле внутренней поверхности стены складского помещения, когда наружная стена внезапно нагревается в результате вспыхнувшего пожара. Внутри склада у стены сложена масса горючего материала.

Необходимо установить, сколько времени пройдет до того, как внутренняя поверхность стены достигнет температуры воспламенения горючего материала.

Задача решается для стен складских помещений, построенных из различных строительных материалов.

Так как размеры помещения велики по сравнению с толщиной стены, то стена может рассматриваться как неограниченная пластина.

Рассмотрим нагревание плоской пластины толщины  $L = 2l$ , не имеющей внутренних источников тепла. Пусть начальное распределение температура в пластине  $U(x, 0) = U_0 = const$  для всех  $t > 0$ .

Математически процесс описывается уравнением:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (1)$$

с начальными и граничными условиями:

$$\begin{aligned} U(x,t)|_{t=0} &= U_0 & 0 \leq x \leq L \\ \left. \begin{aligned} U(x,t)|_{x=0} &= U_1 \\ U(x,t)|_{x=L} &= U_1 \end{aligned} \right\} & \forall t > 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Введём новую переменную  $T(x,t) = U(x,t) - U_1$ , тогда уравнение (1) с условием (2) запишется в виде:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3)$$

$$T(x,t)|_{t=0} = U_0 - U_1 \quad (4)$$

$$T(x,t)|_{x=0} = T(x,t)|_{x=L} = 0$$

$T(0,t) = U_0 - U_1$  означает перепад температур.

Уравнение (3) интегрируем методом разделенных переменных [1], [2]

$$T(x,t) = X(x) \cdot Y(t),$$

Тогда уравнение (3) приводится к виду

$$\frac{X''}{X} = \frac{Y'}{aY} = -\mu^2,$$

получаем два обыкновенных дифференциальных уравнения:

$$X'' + \mu^2 X = 0 \quad (6)$$

$$Y' + a\mu^2 Y = 0 \quad (7)$$

Решения уравнений (6), (7)

$$\begin{aligned} X(x) &= \overline{C}_1 \cos \mu x + \overline{C}_2 \sin \mu x \\ Y(t) &= C e^{-a\mu^2 t} \end{aligned}$$

Общее решение уравнения (3):

$$T(x,t) = e^{-a\mu^2 t} (C_1 \cos \mu x + C_2 \sin \mu x) \quad (8)$$

Решение (8) должно удовлетворять граничным условиям, тогда:

при  $x = 0$   $C_1 = 0$

при  $x = L$   $C_2 = e^{-a\mu^2 t} \sin \mu L = 0,$

откуда  $\sin \mu L = 0$ ,  $\mu = \frac{n\pi}{L}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )

Общее решение равно сумме частных решений для всех последовательных целых решений положительных значений  $n$ .

$$T(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n e^{-a\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 t} \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x \quad (9)$$

Функция  $T(x, t)$  непрерывная, ряд (9) сходится при  $t > 0$  в интервале  $(0, L)$ .

Решение (9) должно удовлетворять начальному условию:

при  $t = 0$ : 
$$U_0 - U_1 = \sum_{n=1}^{\infty} C_n e^{-a\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 t} \sin \frac{n\pi}{L} x \quad (10)$$

Выражение (10) представляет собой разложение функции  $(U_0 - U_1)$  в ряд Фурье по синусам:

$$C_n = \frac{2}{L} \int_0^L (U_0 - U_1) \sin \frac{n\pi}{L} x dx = -\frac{2}{L} (U_0 - U_1) \frac{L}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{L} x \Big|_0^L = \frac{4(U_0 - U_1)}{n\pi} \quad (n = 1, 3, 5, \dots)$$

Окончательное решение получается в виде:

$$T(x, t) = \frac{4(U_0 - U_1)}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-a\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 t} \sin \frac{n\pi}{L} x,$$

возвращаясь к старым переменным имеем:

$$U(x, t) - U_1 = \frac{4(U_0 - U_1)}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-a\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 t} \sin \frac{n\pi}{L} x$$

ИЛИ

$$\frac{U(x, t) - U_1}{U_0 - U_1} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-a\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 t} \sin \frac{n\pi}{L} x \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

Если ввести критерий Фурье  $F_0 = \frac{at}{e^2} \frac{L}{2}$ ,  $l = \frac{L}{2}$ , то

$$\frac{U(x, t) - U_1}{U_0 - U_1} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-a\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 F_0} \sin \frac{n\pi}{2l} x \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (11)$$

Решение задачи для неограниченной пластины с одной изолированной поверхностью содержится в (11). Если температура каждой лицевой поверхности пластины толщиной  $L = 2l$  не равна  $U_1$ , то её средняя плоскость, относительно которой температура симметрична, может рассматриваться как теплоизолированная внутренняя поверхность пластины.

Температура на внутренней поверхности стены  $x = l$  определяется по формуле (11):

$$\frac{U(l,t) - U_1}{U_0 - U_1} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-a \left(\frac{n\pi}{l}\right)^2 F_0} \sin \frac{n\pi}{2l} x = \frac{4}{\pi} \left( e^{-\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 F_0} - \frac{1}{3} e^{-\left(\frac{3\pi}{2}\right)^2 F_0} + \frac{1}{5} e^{-\left(\frac{5\pi}{2}\right)^2 F_0} - \dots \right) = P(F_0)$$

Определим повышение температуры внутренней поверхности стены склада толщиной 0,152 метра, если под действием огня повышается температура наружной поверхности склада. Рассмотрены стены изготовленные из различных строительных материалов.

Численные значения полинома  $P(F_0)$  для различных строительных материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1

$t$	бетон		известняк строительный		гранит		кирпич	
	$F_0$	$P(F_0)$	$F_0$	$P(F_0)$	$F_0$	$P(F_0)$	$F_0$	$P(F_0)$
0	0	1	0	1	0	1	0	1
1	0,08	0,975	0,128	0,903	0,2	0,772	0,059	0,992
2	0,16	0,846	0,256	0,676	0,4	0,474	0,119	0,920
3	0,240	0,702	0,384	0,493	0,6	0,289	0,177	0,816
4	0,320	0,578	0,512	0,360	0,8	0,177	0,236	0,709

Изменение температуры внутренней поверхности стены складского помещения, изготовленной из различных строительных материалов приведено на рисунке 1.

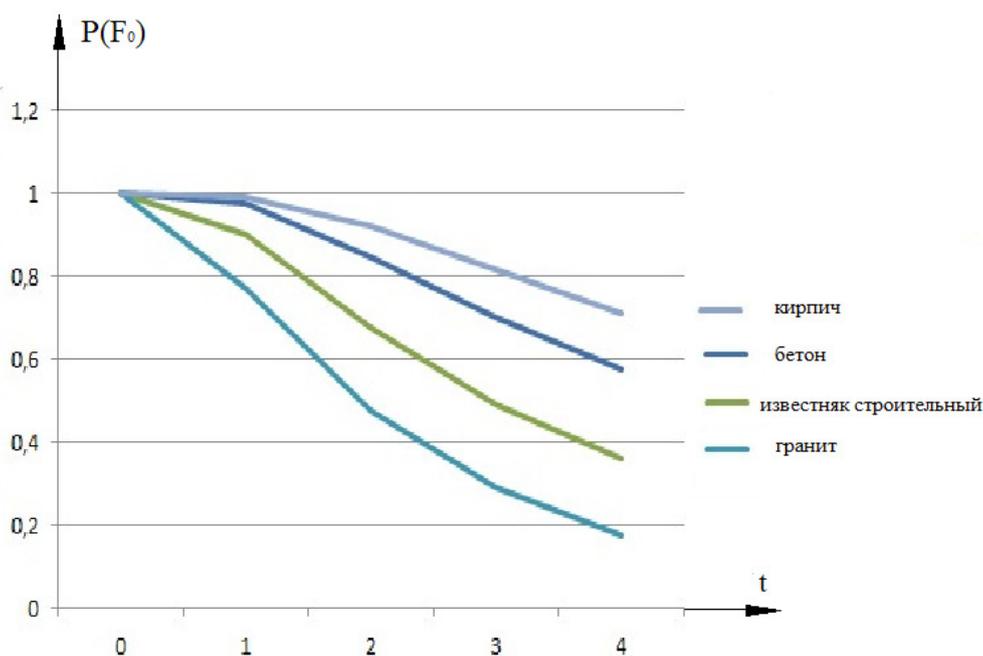
Как показывают результаты исследования стены с более высоким коэффициентом теплопроводности имеют более короткое время нагрева [3].

Например, если температура воспламенения хранимого материала равна 60 °С, начальная температура 27 °С, а под действием огня температура наружной поверхности стены достигает 193 °С, тогда

$$\frac{U(l,t) - U_1}{U_0 - U_1} = \frac{60 - 193}{27 - 193} = 0,8 = P(F_0).$$

Как следует из графика, чтобы стена из кирпича достигла температуры воспламенения потребуется свыше трех часов, а для стены из гранита менее одного часа.

Полученные решения для полуграниченной пластины имеют практическое применение в технологических процессах строительной, химической и других отраслей промышленности.



**Рисунок 1.** Изменение температуры внутренней поверхности стены для различных материалов

### Список литературы

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.
2. Егоров В.И. Аналитические методы решения задач теплопроводности. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. 40 с.
3. Карташов Э.М., Кудинов В.А. Аналитические методы теории теплопроводности и её приложений. М.: URSS Ленанд, 2017. 1078 с.

УДК 621.32

*Кислов А.П., Талипов О.М.*

НАО «Торайгыров университет», г. Павлодар, Республика Казахстан

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ

г. Павлодар

**Аннотация.** Тигельные печи индукционной плавки обладают преимуществом оптимального управления процессом, регулирования производительности и имеют высокие технические показатели. Исследование электрической и энергетической корреляции тигельных печей индукционной плавки необходимо для анализа работы и выяснения оптимальных условий эксплуатации, разработки методов проектирования и определения оптимальных конструкций магнитопроводов. Авторами разработаны методы расчета энергии электромагнитного поля по сечениям пространства индукционной системы, подбору и монтажу магнитопроводов с целью наилучшего удовлетворения технологических требований и достижения высоких энергетических и эксплуатационных показателей при строительстве индукционных тигельных печей.

**Ключевые слова:** тигельные печи, индукционная плавка, магнитопроводы, энергетические характеристики, электротехнологии.

*Kislov A.P., Talipov O.M.*

Toraigirov University, city of Pavlodar, Republic of Kazakhstan

## THE RESEARCH OF ENERGETIC CHARACTERISTICS OF INDUCTION SMELTING CRUCIBLE FURNACES

**Abstract.** Induction smelting crucible furnaces have the advantage of optimal management of the process, regulation of the capacity and have high technical indices. The research of electrical and energetic correlation of induction smelting crucible furnaces is necessary in order to analyze the work and elucidate the optimal condition of exploitation, to work out the methods of projection and determine the optimal constructions of magnet wires. The authors worked out the methods of calculating the energy of electromagnetic field according to the sections of the space of the induction system, to the selection and installation of magnet wires in order to

meet the technological requirements in the best way and to achieve high energetic and exploitation indices when building the induction crucible furnaces. The work represents the influence and interrelation of the inductor and the charge with the magnet wire depending on geometrical correlation of the induction system.

**Keywords:** *crucible furnaces, induction melting, magnetic circuits, energy characteristics, electrical technologies.*

Calculation of electromagnetic field for induction system of inductor-charge for melting pot furnaces is especially complicated. Because of determination of the magnetic field in surround area. The goal of research is the analysis of distribution of electromagnetic field and reactivity power on the areas of space of inductor-charge. Investigation was completed by means of mathematical model for space of inductor-charge.

Calculation of energy of field is the base of mathematical model that allows to part the research external space of the inductor-charge system per tores of rectangular section and to define the tension of magnetic field H in it and the energy of electromagnetic field in given area. The whole energy of the inductor-charge defines as sum of energy that localized in the every particular tore.

Because of complexity of induction cylindrical axis symmetrical system, during calculation of radial and axis components of magnetic field tension, the real induction system is substituted to idealized — real torsions is substituted by thread circular contours and it is considered that thickness of circular contour is equal to depth of penetration of current into metal of inductor, and current in every circular contour is equal to the current of inductor, besides that the assumption of sinusoidal change of electromagnetic values at the frequency 50 GHz.

Lets note expression for components of tension of magnetic filed [2] that was created by circular thread current at the point with coordinates  $r_k — z_k$  for cylindrical system of coordinates:

$$Hr_{i,j} = \frac{I_{i,j}}{2\pi} \cdot \frac{z_{i,j}}{r_k \left[ (r_{i,j} + r_k)^2 + z_{i,j}^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \left[ -K + \frac{r_{i,j}^2 + r_k^2 + z_{i,j}^2}{(r_{i,j} - r_k)^2 + z_{i,j}^2} \cdot E \right], \quad (1)$$

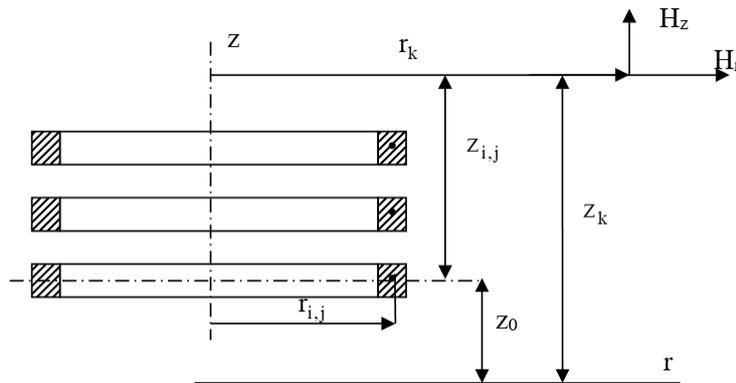
$$Hz_{i,j} = \frac{I_{i,j}}{2\pi} \left[ (r_{i,j} + r_k)^2 + z_{i,j}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[ K + \frac{r_{i,j}^2 - r_k^2 - z_{i,j}^2}{(r_{i,j} - r_k)^2 + z_{i,j}^2} \cdot E \right], \quad (2)$$

K and E are full elliptical integral of first and second types of circular contours with current; indices I and j are contours that is equal to inductor and charge.

Modules of elliptical integrals k and e is equal to:

$$k = \sqrt{\frac{4r_{i,j} \cdot r_k}{(r_{i,j} + r_k)^2 + z_{i,j}^2}}. \quad (3)$$

At the picture 1 the scheme for calculation of components of tension of magnetic field of circular turn with current, where  $r_k - z_k$  are radial and axis coordinates of the point;  $z_0$  is the distance from plane of circular contour with current to axis  $r$ ;  $z_{i,j} = z_k - z_0$  is given axis coordinates of the investigated thread contour;  $z_{i,j} =$  radius of thread turn with current (inductor, charge).



**Picture 1.** Sketch for calculation of components of tension of magnetic field system I-3

Using expressions for components of tension of magnetic field  $H_{r_{i,j}}$  and  $H_{z_{i,j}}$  of circular turn with current and utilizing the principle of imposition of fields we would obtain formulas that define components of tension of magnetic field induction system inductor-charge:

$$H_r = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m H_{r_{i,j}}, \quad (4)$$

$$H_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m H_{z_{i,j}}, \quad (5)$$

$$H = \sqrt{H_r^2 + H_z^2}, \quad (6)$$

$N$  and  $m$  are the quantity of thread contours with current in inductor, charge.

So components of tension of magnetic field  $H_r$  and  $H_z$  in investigated point of space defines as sum of tension, created by all elemental of thread contours of current inductor and charge.

In order to find energy of electromagnetic field concentrated at the volume  $dV$  we use following expression:

$$dW = \frac{1}{2} \mu_0 H^2 dV. \quad (7)$$

Formula of determination of reactivity power in the given volume is given in the following way:

$$dP_q = 2\pi\mu_0 f H^2 dV. \quad (8)$$

In accordance to principle of imposition at the determination of components of tension of magnetic fields 4-6 of system inductor-charge, energy of electromagnetic field is defined by the integration of expressions 7, 8 in all investigated system volume.

The expression for energy of electromagnetic field is:

$$W = \frac{1}{2}\mu_0 \int_{r_1}^{r_2} r \int_0^{2\pi} \cos\alpha \int_{z_1}^{z_2} H^2 dr d\alpha dz. \quad (9)$$

We use the following expression for reactivity power:

$$P_q = 2\pi\mu_0 f \int_{r_1}^{r_2} r \int_0^{2\pi} \cos\alpha \int_{z_1}^{z_2} H^2 dr d\alpha dz. \quad (10)$$

After the integration by variable  $\alpha$ , the rewriting of expression (9)-(10) comes in the following way:

$$W = \pi\mu_0 \int_{r_1}^{r_2} \int_{z_1}^{z_2} H^2 r dr dz, \quad (11)$$

$$P_q = 4\pi^2\mu_0 f \int_{r_1}^{r_2} \int_{z_1}^{z_2} H^2 r dr dz. \quad (12)$$

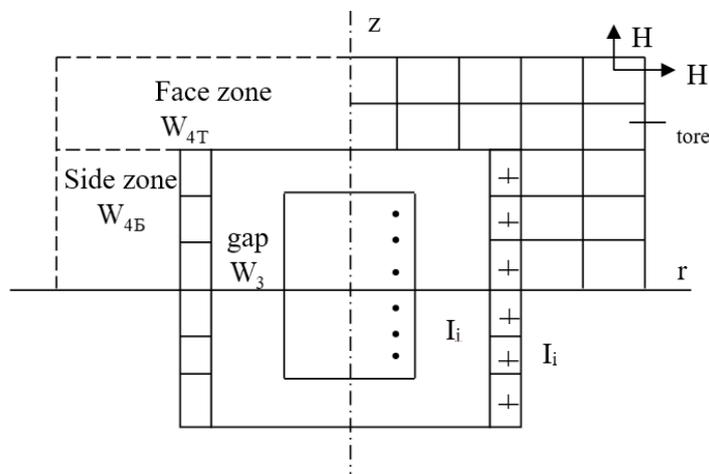
In accordance to axis symmetry it is advisable to consider volumes of investigated space as rectangular tores (picture 2). Then the calculation just comes to determination of investigated space  $V$ , integration by this volume with respect to obtained components of tension of magnetic fields  $H_r$  and  $H_z$  so that the field would be homogeneous in the given volume and calculation of specific reactivity energy of electromagnetic field of system inductor-charge, as a sum of energy, localized in each particular investigated tore:

$$W_\Sigma = \sum_{K=1}^N W_K. \quad (13)$$

The expression for reactivity power in investigated space system of inductor-charge would be following:

$$P_q = \sum_{q=1}^K P_q. \quad (14)$$

Elaborated mathematical model dedicated to distribution of energy of electromagnetic field and distribution of reactivity power in the areas of space of axis symmetrical system of inductor-charge.



**Picture 2.** Sketch of system I-3 for calculation of the energy of electromagnetic field by the areas of the system space.

Research is completed with the help of elaborated mathematical model [3] in accordance to geometrical values of inductors and charge.

The aim of the investigation was the analysis of changing of field energy and reactivity power in the area between charge and inductor, in outer area of inductor with side and face plan areas of the space. Investigation is aimed to obtain concrete means of parameters of charge and the most possible parameters of induction plants.

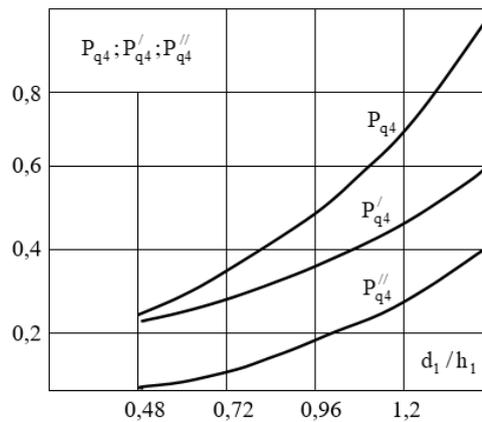
During the analysis of distribution of energy field and reactivity power following double method was used: during the varying of geometrical values of inductor changing of field energy and reactivity power and then in the presence of charge and simultaneously varying its geometrical values defines the picture of the field that is characteristically for system of inductor-charge induction melting pot furnaces.

Influence of relative length  $h_1/d_1$  on the distribution of energy field and reactivity power taking into account the charge was considered.

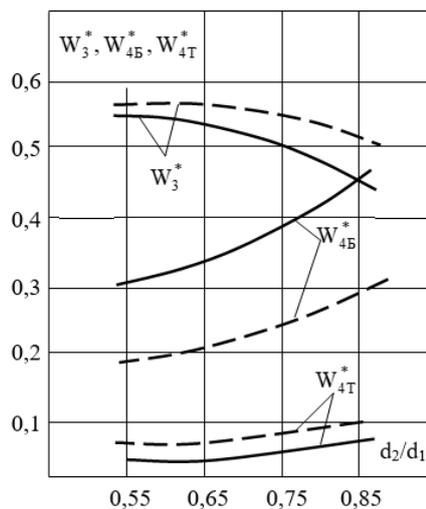
At the picture 3 calculation dependencies of reactivity power out of inductor without charge is given, where  $P'_{q4}$ ,  $P''_{q4}$  are the changes of reactivity power of outer space.

Analysis of distribution of energy and reactivity power outside of inductor without charge, for side and face zones, show that in the ratio  $l_1/d_1 < 125$  reactivity energy in face zone of space grows very significantly as well as the reactivity energy of the side zone decreases. It is an illustration of increase of concentration of power line of magnetic field tension and allows considering that the utilization of magnetic circuit is necessary in this areas of the space.

Research of the distribution of energy of magnetic field in accordance to changes of geometrical parameters of the system of inductor-charge  $d_2/d_1$ ,  $h_2/h_1$  in the gap and outside of the system. At the picture 4 the relative changes of magnetic field energy in the areas of the space of the system of inductor-charge at the different  $d_2/d_1$  for the ratio  $h_2/h_1=1$  and  $h_2/h_1=0,76$ . In the case of changing of  $h_2/h_1$  from 1 to 0,76 the energy of the side zone of the space  $W_{4T}$  is decreased. The analysis of the curve at the picture 4,5 shows that there is an increase of the energy of dispersion of face zone in the induction system. At the picture 6,7 the dependency of reactivity power in the gap and outside of the system of inductor-charge from geometrical parameters of system is given.



**Picture 3.** Calculation dependencies of reactivity powers out of the empty inductor  $d_1$  outer diameter of inductor;  $h_1$  — height of inductor.

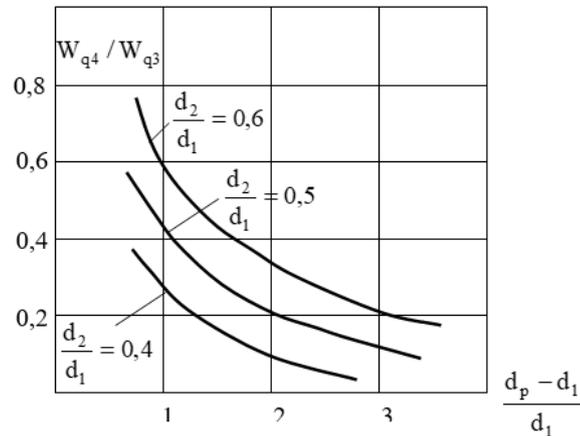


**Picture 4.** Calculation changes of energy of electromagnetic field of the areas of inductor-charge system space: of the  $h_2/h_1=0,76$ ; of the  $h_2/h_1=1$

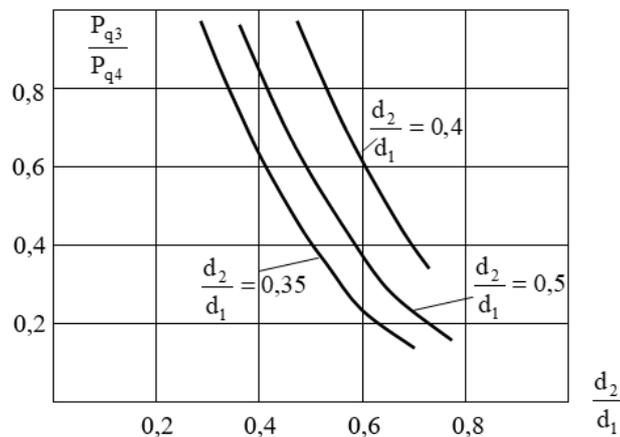
For the research of the distribution of field energy by the areas, selection of investigation zone in accordance to restrictions is essential factor. In this case the

aims of investigation just comes to analysis of distribution of field energy in the zone of outer space of system of inductor-charge by groups: outer space of inductor. This method allows to calculate the changes of energy and reactivity power of concrete system of inductor-charge in respect to the possibility of the changing this values under the influence of out influence, namely, at changing the places of planting the magnetic circuit and value its influence on energetic characteristics. Selection of the place of planting magnetic circuit [4] defining by characteristics of changing of the energy of electromagnetic field in side and face zones of outer space of the system of magnetic circuit of areas of greater energy of dispersion leads to decrease of energy and reactivity power outside of the space of the system of inductor-charge defines by loose of electricity in magnetic circuit.

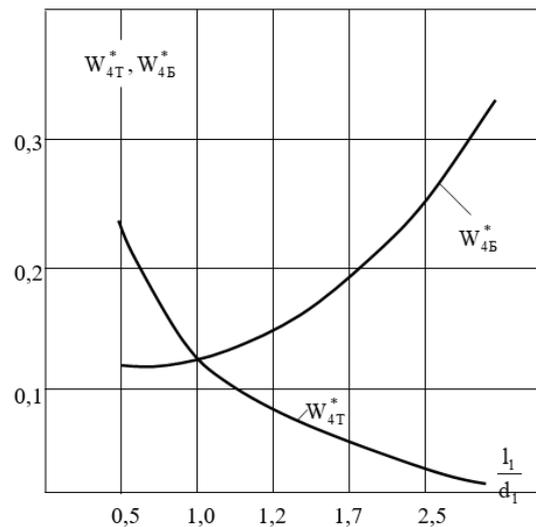
Picture 4 Calculation changes of energy of electromagnetic field at areas of inductor-charge system space.



Picture 5. Calculation dependencies of the energy of electromagnetic field system of inductor-charge at the different ratio of  $d_2/d_1$



Picture 6. Calculation dependencies of distribution of reactivity power in the gap of the system of inductor-charge at the different ratio of  $d_2/h_1$



**Picture 7.** Calculation dependencies of distribution of energy of electromagnetic field in side and face zones system of inductor-charge at the different ratio of  $l_1/d_1$

Investigation of distribution of energy of electromagnetic field of induction system comes to the calculation and quantity value of energy in the areas of space with the aim of selection of place magnetic circuit and determination its influence on energy indices of plants. for axis symmetrical cylindrical system of inductor-charge of distribution of energy of electromagnetic field in the area of space the calculation of section of magnetic circuit might be done and its influence on the energy indices of all the system.

### Bibliography

1. Method of calculation of reactivity power for axis symmetrical system of inductor-charge. Kislov A.P. Thesis of the report of the conference MUandC. Pavlodat 1985, page 10-12.
2. Kislov A.P. Mathematical model for calculation of energy of electromagnetic field of axis symmetrical system of inductor-charge. Scientific work of MEI, 1987. Issue-11, page 18-23.
3. Kislov A.P., Aliferov A.I. Calculation of outer magnetic circuits of axis symmetrical system of inductor-charge by supplied energy of the field. Electro technological processes and plants. Scientific works collection. Novosibirsk, 1995.
4. Индукционная установка для нагрева металлических заготовок под прессовку. Патент РК. Бюл. № 7 от 15.07.2003 / А.П. Кислов, А.Б. Кувалдин, А.И. Алиферов.

## СЕКЦИЯ 2. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

---

---

УДК 621.3

*Емельянова О.О.*

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

### АНАЛИЗ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА ИЗОЛЯЦИИ КЛ 35 кВ

г. Сургут

**Аннотация.** В настоящей статье проведен анализ неограниченных грозовых перенапряжений на изоляции кабельных линий (КЛ) 35 кВ при воздействии срезанного грозового импульса, сформировавшегося в результате перекрытия линейной изоляции. Предварительные результаты показали, что при исполнении воздушной линии (ВЛ) 35 кВ в габаритах линии 110 кВ на изоляции КЛ могут возникнуть опасные перенапряжения, превышающие допустимую импульсную прочность.

**Ключевые слова:** *грозовые перенапряжения, срезанный импульс, кабельные линии, воздушные линии.*

*Emelyanova O.O.*

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

### ANALYSIS OF THE LIGHTNING OVERVOLTAGES IN 35 kV CABLE LINES

Surgut

**Abstract.** In this paper the analysis of unrestricted lightning overvoltages impacting the 35-kV cable line insulation is carried out for the case when the chopped impulse is formed as a result of the line insulation flashover. In accordance with the preliminary results dangerous lightning overvoltages that exceed the permitted impulse strength

of the cable line insulation can occur when the overhead line with the 35-kV nominal voltage is arranged in 110-kV line frame.

**Keywords:** *lightning overvoltages, chopped impulse, cable lines, overhead lines.*

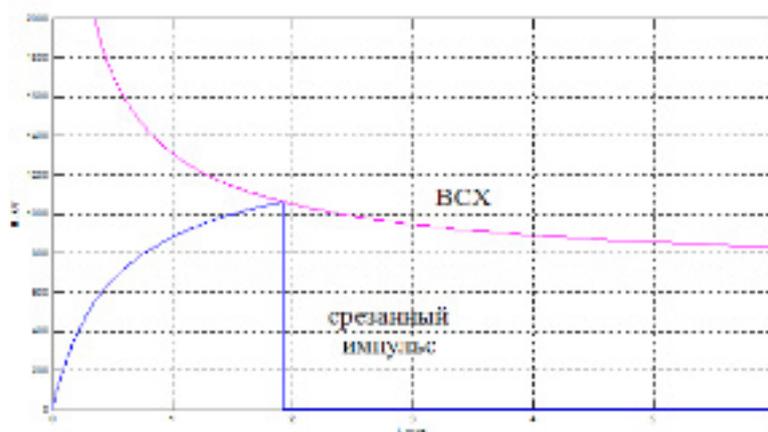
В настоящее время распространение получили воздушно-кабельные (КВЛ) и кабельные линии высокого напряжения, эксплуатация которых сталкивается с необходимостью анализа опасных воздействующих факторов и разработки мероприятий по ограничению перенапряжений, превышающих допустимый для изоляции КЛ уровень [1]. В частности, опасность представляют высокочастотные перенапряжения, которые не всегда могут быть ограничены защитными аппаратами, например, нелинейными ограничителями перенапряжений (ОПН) [2-3].

К появлению на изоляции КЛ высокочастотных перенапряжений может привести воздействие грозовых импульсов с высокой крутизной в случае обратных перекрытий ВЛ, что особенно характерно для северных районов в условиях затруднительного обеспечения низкого импульсного сопротивления опоры.

Частотный диапазон (200-300 кГц) и уровень грозовых перенапряжений, воздействующих на изоляцию оборудования высокого напряжения, зависят от параметров тока молнии, исхода грозового поражения ВЛ, конфигурации подстанции (ПС), ее конструктивного исполнения, класса напряжения, длины кабельных вставок (при их наличии) между ВЛ и ПС и других факторов. Следует учитывать, что при каждом воздействии на изоляцию перенапряжений имеет место кумулятивный эффект — процесс развития частичных разрядов (ЧР), со временем приводящих к пробое.

Для анализа неограниченных грозовых перенапряжений, воздействующих на изоляцию КЛ 35 кВ, была рассмотрена реальная схема подстанции с учетом современных тенденций, когда подход к подстанции выполнен КВЛ. Одновременно с этим, рассматривался вариант исполнения КВЛ номинальным напряжением 35 кВ в габаритах линии электропередачи (ЛЭП) 110 кВ, что с точки зрения анализа грозовых воздействий является наиболее тяжелым режимом.

Согласно [4] нижняя граница реальных значений амплитуд токов молнии составляет 5...7 кА; при волновом сопротивлении коронирующего провода ВЛ 350...415 Ом даже минимальные амплитуды волн напряжения, образовавшихся при прорыве молнии на провода ВЛ, составляют 1000...1400 кВ, что превышает и соизмеримо с импульсной прочностью изоляции ВЛ 110 и 220 кВ. Тип и энергетический потенциал воздействующей грозовой волны определяется пересечением исходной волны напряжения с вольт-секундной характеристикой линейной изоляции ВЛ (рис.1).

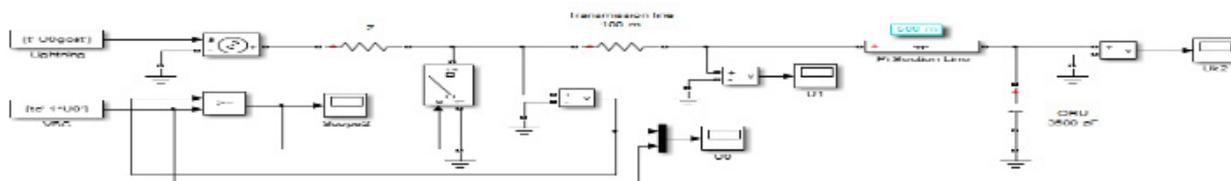


**Рисунок 1.** Форма срезанного грозового импульса, воздействующего на изоляцию КЛ 35 кВ, при ближнем ударе молнии

Для исследования амплитудно-временных параметров неограниченных грозовых перенапряжений, воздействующих на изоляцию кабельной вставки, в качестве исходных данных были приняты: волновое сопротивление ВЛ — 350 Ом; длина кабельной вставки, осуществляющей связь ВЛ с ОРУ-35 кВ — 500 м; суммарная емкость подключенного электрооборудования ОРУ — 3500 пФ.

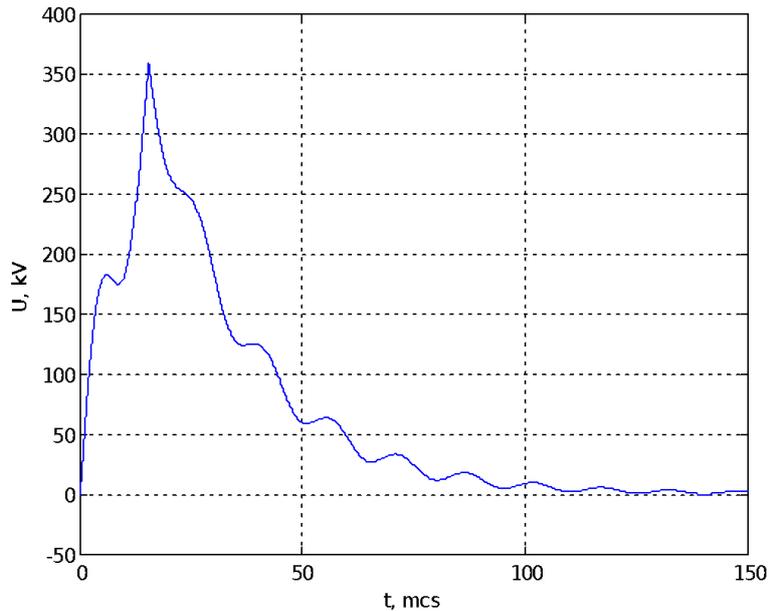
Параметры находящейся в эксплуатации кабельной вставки были взяты на основании каталожных данных:  $R = 0,075 \text{ Ом/км}$ ,  $L = 0,37 \text{ мГн/км}$ ,  $C = 0,24 \text{ мкФ/км}$ .

Расчетная модель для анализа неограниченных грозовых перенапряжений, возникающих на кабельной вставке при воздействии срезанного импульса, представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Расчетная модель для анализа неограниченных грозовых перенапряжений, возникающих на кабельной вставке при воздействии срезанного импульса

Приведенные на рисунке 3 результаты расчета неограниченных грозовых перенапряжений при воздействии срезанного импульса демонстрируют значение свыше 350 кВ в начале кабельной вставки.



**Рисунок 3.** Результаты расчета неограниченных грозовых перенапряжений на изоляции КЛ при воздействии срезанного импульса

Допустимым для изоляции КЛ 35 кВ принимается значение испытательного импульсного напряжения 170 кВ. Одновременно с этим, ввиду сопряжения КЛ с ОРУ следует учитывать уровень импульсных перенапряжений, допустимый для изоляции подключенного электрооборудования. Так, для силовых трансформаторов 35 кВ допустимым для изоляции является значение амплитуды грозового импульса — 210 кВ согласно РД 153-34.3-35.125-99.

Сопоставление уровней неограниченных перенапряжений с импульсной прочностью изоляции КЛ и подстанционного оборудования приводит к выводу, что в данном случае требуется разработка мероприятий по ограничению перенапряжений и установка защитных аппаратов для обеспечения надежной эксплуатации электрооборудования.

### Список литературы

1. Hoogendorp G., Popov M., van der Sluis L. Lightning induced overvoltages in mixed 380 kV OHL-cable-OHL connections // International Conference on Power System Transients (IPST2013), Vancouver, Canada , July 18-20, 2013, pp. 1-6.
2. Бурлаков Е. Переходные процессы и перенапряжения в однофазных кабельных линиях высокого напряжения / Е. Бурлаков, Г. Евдокунин, А. Карпов, Шатилов Д. // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2017. Т.4, № 1. С. 3-9.

3. Халилов Ф.Х., Гумерова Н.И., Малочка М.В. Анализ грозových перенапряжений в подстанциях с КРУЭ // Труды Кольского научного центра РАН. 2010. №1.
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А, Рейхердт А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них. Новосибирск: изд-во НГТУ, 2004. 319 с.

УДК 621.31

*Иманов Э.Д.*

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

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

г. Сургут

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены основные факторы, влияющие на эффективность передачи электроэнергии в сетях. Описаны методы, которые наиболее практичны и экономически рациональны для повышения эффективности систем энергоснабжения.

**Ключевые слова:** *система энергоснабжения, потери электрической энергии, повышение надежности электроснабжения.*

*Imanov E.D.*

Budget institution of higher education of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra “Surgut State University”, Surgut

## WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM

Surgut

**Abstract.** This article discusses the main factors affecting the efficiency of electricity transmission in networks. The methods that are the most practical and economically rational for increasing the efficiency of power supply systems are described.

**Keywords:** *power supply system, loss of electrical energy, increasing the reliability of power supply.*

Повышение эффективности систем энергоснабжения (далее СЭС) — является одной из приоритетных задач в энергетике. Внимание к этой теме вызвано необходимостью сбережения электроэнергии, исключения ее потерь, снижения аварийных ситуаций на производстве. Все эти проблемы являются крайне важными в современных условиях развития российской экономики. От правильно-

сти и оперативности их решения во многом зависит конкурентоспособность того или иного предприятия на рынке.

Анализ систем электроснабжения и энергетической эффективности промышленных предприятий часто выявляет нерациональные затраты энергоресурсов и неоправданные потери электрической энергии (далее ЭЭ).

Потери электроэнергии происходят непосредственно во время процесса ее передачи в элементах СЭС (трансформаторных подстанциях, распределительных устройствах, линиях электропередач).

Для того чтобы устранить потери ЭЭ, следует предпринять поиск источников и причин их возникновения. Высокая доля потерь в СЭС возникает, в основном, из-за эксплуатации устаревшего и изношенного оборудования, состояние которого требует срочного ремонта, а также из-за отсутствия внедрения контрольных автоматизированных систем слежения и регулирования расходов электропотребления и несоответствия современным требованиям стандартов учета. Существенные технологические потери ЭЭ в СЭС предприятий, как правило, вызваны следующими причинами:

- неудовлетворительным состоянием действующих электрических сетей из-за снижения объемов капитальных ремонтов, реконструкции и замены технически устаревшего и изношенного оборудования;
- вынужденной работой элементов СЭС в неоптимальных режимах при повышенном электропотреблении в часы максимальных нагрузок;
- эксплуатацией цеховых трансформаторов с низким коэффициентом загрузки;
- наличием значительных перетоков реактивной мощности в электрических сетях, которые приводят не только к увеличению потерь электроэнергии, но и к снижению их пропускной способности, увеличению потерь напряжения [3];
- нерациональными режимами работы основного электрооборудования;
- устаревшими схемами питающих и распределительных сетей;
- стабильной неравномерностью суточных графиков нагрузок.

В настоящее время существует целый ряд методов повышения эффективности электроснабжения промышленных предприятий.

Рассмотрим методы, которые наиболее практичны и экономически рациональны для повышения эффективности СЭС промышленных предприятий.

1. Модернизация и реконструкция действующих СЭС предприятий, распределительных схем питания цеховых трансформаторных подстанций и электроустановок.

Это осуществляется путем замены устаревшего электрооборудования на новое с повышением КПД и степени надежности, внедрения энергосберегающих технологий. Такой метод является самым распространенным.

## 2. Выравнивание неравномерных суточных графиков электрических нагрузок.

Этот метод позволяет существенно уменьшить пиковый максимум нагрузки, что способствует снижению потерь и экономии электрической энергии в сети, так как на производстве могут использовать одновременно сталеплавильные печи различного рода, прокатные станы, сварочные установки и т.д. Если предприятие работает в две смены (утренняя и вечерняя), то можно ввести третью — ночную, за счет которой разгрузить «пик» осветительной нагрузки второй смены, тем самым заполнив ночной провал суточного графика потребления. Введение интервала между рабочими сменами в период резко-выраженного максимума нагрузки энергосистемы также решает проблему энергосбережения.

Для обеспечения стабильной работы промышленного предприятия необходимо проектировать графики ограничения потребления мощности электроэнергии при перерывах электропотребления на основании данных об удельных ущербах, комплексных схем технологического процесса и системы электропитания [2].

Недостатки этого метода приводят к нарушению нормальных производственных режимов работы предприятий и ухудшению условий труда рабочих.

## 3. Установка компенсирующих устройств.

Нагрузка на предприятиях обычно бывает активная, емкостная и индуктивная в зависимости от типа электрооборудования. Реактивная энергия отрицательно воздействует на внутренние электросети цеха, создавая электромагнитные поля в электроустановках. Реактивный ток приводит к снижению качества электроэнергии. Компенсирующие устройства предназначены для компенсации емкостной или индуктивной составляющей переменного тока. Используются для компенсации реактивной мощности в узлах электроэнергетической системы и компенсации реактивных параметров линий. Установка компенсации реактивной мощности (далее УКРМ) обеспечивает увеличение и поддержание на нормативном уровне величины коэффициента мощности трехфазной распределительной сети. Основной задачей УКРМ является аккумуляция в конденсаторах реактивной мощности.

УКРМ способствует снижению:

- перетоков реактивной мощности;
- потерь электроэнергии в распределительных питающих электросетях и увеличения их пропускной способности для подключения новых нагрузок без увеличения стоимости сетей;
- общих расходов на электроэнергию;
- нагрузки трансформаторных подстанций, электроустановок и силовых линий;

- тепловых потерь электрического тока;
- воздействия высших гармоник и несимметричности фаз.

#### 4. Энергоэффективная эксплуатация трансформаторов цеховых подстанций.

Потери в трансформаторах бывают двух типов — потери в обмотках и потери в сердечнике. Потери в обмотках непосредственно имеют связь с сопротивлением медных обмоток и выделением тепла, величина этих потерь пропорциональна квадрату тока и составляет 1–3 % номинальной мощности при 100 % загрузки трансформатора.

На трансформаторных подстанциях имеется избыток установленных мощностей, вследствие чего среднее значение загрузки относительно низкое. Этот избыток мощностей необходим для обеспечения надежной и бесперебойной работы трансформаторов в аварийной ситуации, при выходе из строя одного из них. Методы оптимизации применимы ко всем ТП, согласно оценкам оптимизация загрузки возможна в 25% случаев.

В реальных условиях среднее значение коэффициента загрузки всегда меньше 100%, а максимальный КПД трансформатора, независимо от мощности, достигается при его загрузке в среднем на уровне 45–75% от номинальной загрузки. Такой метод позволяет определить оптимальные варианты повышения эффективности для трансформаторной подстанции:

- если общая нагрузка ниже 40–50% номинальной мощности ТП, то в качестве меры энергосбережения логично повысить энергоэффективность подстанции за счет отключения одного или нескольких трансформаторов, доведя значение коэффициента загрузки оставшегося или оставшихся в работе трансформаторов до оптимальной величины;
- если общая нагрузка превышает 75% номинальной мощности ТП, то для достижения максимального КПД трансформаторов необходимо установить дополнительные мощности;
- если трансформаторы исчерпали свой ресурс в ходе эксплуатации и необходима модернизация устаревших ТП, целесообразно их заменить на трансформаторы с пониженным уровнем потерь, что позволяет снизить потери на 20–60% [1].

### Список литературы

1. Данилов О.Л. Основы энергосбережения. — М.: Изд. Дом МЭИ, 2010. — 424 с.
2. Ефременко В. М., Белявский Р.В. О влиянии перетоков реактивной мощности на параметры систем электроснабжения промышленных предприятий // Вестник КузГТУ. — 2011. — № 3. — С. 60–63.

3. Железко Ю. С., Артербев А. В., Савченко О. В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. Руководство для практических расчетов. — М.: НЦ ЭНАС, 2003. — С. 20–29.
4. Овчаренко Т.И., Васюченко П.В., Кирисов И.Г. Анализ существующих систем электроснабжения предприятий как фактор повышения их эффективности // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. — 2012. — № 7. — С. 17–22.

УДК 621.316

*Редченко В.А.*

Сургутский государственный университет, г. Сургут

## ВЛИЯНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СЕТИ 110 КВ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ШИНАХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ 0,4 КВ НА ПРИМЕРЕ НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

г. Сургут

**Аннотация.** В написанной статье рассмотрены аварийные ситуации в сети, причины их возникновения и то, какое влияние они оказывают на шины потребителя 0,4 кВ. Чтобы увидеть наглядное воздействие, осуществлено моделирование процессов короткого замыкания.

**Ключевые слова:** аварии, форма напряжения, потребители, повреждения.

*Redchenko V.A.*

Surgut state university, Surgut

## INFLUENCE OF EMERGENCY SITUATIONS IN THE 110 KV ELECTRICAL NETWORK ON THE QUALITY OF ELECTRIC POWER ON THE BUSES OF CONSUMERS 0.4 KV ON THE EXAMPLE OF OIL AND GAS PRODUCTION

Surgut

**Abstract.** In the written article, emergency situations in the network, the reasons for their occurrence and the effect they have on the 0.4 kV consumer buses are considered. To see the visual impact, the modeling of the short circuit processes was carried out.

**Keywords:** accidents, voltage form, consumers, damages.

Нефтегазовое производство предполагает использование надежного электрооборудования, питание которого осуществляется на трехфазном напряжении 0,4 кВ. Наиболее распространенным видом электрических потребителей являются трехфазные асинхронные двигатели — привод буровых установок, погружные

насосы, привод станков цехов вспомогательного производства и электропривод технологических установок по переработке нефти т.д. Электроэнергия к потребителям поступает непосредственно через КТП 10/0,4 кВ или 6/0,4 кВ. Типовая структура электрической сети для питания потребителей, связанных с нефтегазовым производством, такова: сеть 110 кВ, далее воздушные фидеры 10 кВ, длина которых от нескольких до десятков километров. Сеть 10 кВ может представлять собой достаточно разветвленную схему с целью питания КТП 10/0,4 кВ, удаленных на значительное расстояние. Некоторые технологические производства располагаются вблизи от головных подстанций 110 кВ, их питание может осуществляться при помощи кабельных линий 10 кВ незначительной длины (сотни метров или несколько километров).

Учитывая специфику нагрузок, должна обеспечиваться не только надежность (бесперебойность) электроснабжения потребителей нефтегазовой промышленности, но и соблюдение норм качества электрической энергии согласно ГОСТ 32144-2013 [1]. Для двигательной нагрузки наиболее значимыми показателями, оказывающими влияние на надежность, производительность, их ресурсные характеристики, системы управления этими двигателями, можно считать: соблюдение уровней напряжения в пределах допустимого, симметрию напряжений, отсутствие провалов напряжения, отсутствие высших гармонических составляющих в кривой напряжений, отсутствие импульсных или высокочастотных процессов с высокими уровнями перенапряжений, вследствие которых может произойти повреждение изоляции кабелей или самих двигателей. Помимо этого, при значительных отклонениях уровней напряжений питающей сети 0,4 кВ даже в течение непродолжительного времени, может происходить остановка двигателей, находящихся под нагрузкой, и, соответственно, нарушение технологического процесса, что в свою очередь может принести экономический ущерб.

К причинам отклонения формы напряжения от нормальной на шинах 0,4 кВ потребителя можно отнести: несимметрия нагрузки по фазам по всей сети, перерывы в электроснабжении, вызванные авариями в сети 110 кВ,. При наличии резерва эти перерывы определяются временем переключения на резервные источники или работающие системы шин.

Анализ повреждений на воздушных линиях электропередачи 110 кВ показывает, что более 65% устойчивых аварийных отключений приходится на обрывы одной фазы ВЛ и однофазные замыкания и. На линиях с односторонним питанием такие аварии сопровождаются длительным перерывом в электроснабжении потребителей и, как следствие, большим недоотпуском электроэнергии. При авариях остаются отключенными все фазы линии в течение всего промежутка времени, при котором ведется поиск участка повреждения и ремонт. В таких случаях необходимо использование резервных источников электроэнергии.

При двухстороннем питании продолжительных перерывов электроснабжения не наблюдается. Процесс возникновения аварии и ее ликвидации средствами автоматики сопровождается переходными процессами в сети 110 кВ, которые имеют сложную форму и зависят от вида аварии и способа ликвидации, они могут через трансформаторные связи 110/10 кВ и 10/0,4 кВ передаваться к потребителю 0,4 кВ. Провалы напряжения, высокие кратности импульсных перенапряжений и существенные искажения формы напряжения на стороне 0,4 кВ, в течение короткого промежутка времени могут сказаться на надежности работы электроустановок, подключенным к шинам 0,4 кВ. Одним из способов изучения форм напряжения может являться экспериментальное исследование, когда производится регистрация процессов на шинах 0,4 кВ на реальных объектах, которые в той или иной степени пострадали от нарушения норм качества электроэнергии. Соблюдение норм ПУЭ [2], как показывает опыт, не является гарантией отсутствия технологических нарушений, связанных с несоблюдением норм качества электроэнергии. На стадии проектирования схем электроснабжения потребителей нефтегазового производства или при развитии сети с присоединением новых потребителей такая информация может быть получена только средствами математического моделирования.

Целью исследования, представленного в данной статье, является анализ форм напряжений на шинах потребителя 0,4 кВ, для которого показатели качества электроэнергии являются критичными, при различных аварийных ситуациях в сети 110 кВ, включая их ликвидацию средствами РЗА. За основу исследований приняты следующие виды аварий, характерные для сетей и ВЛ 110 кВ: однофазное КЗ, двухфазное КЗ, обрыв провода. В таблице 1 приведены типичные технологические нарушения и причины, их вызывающие.

**Таблица 1.** Типичные аварии на ВЛ 110 кВ и причины, их вызывающие

Тип аварии	Основные причины
Однофазное КЗ	Коммутационные перенапряжения, Грозовые перенапряжения, набросы на провод посторонних предметов, действия птиц, обрыв и падение троса
Двухфазное КЗ	Набросы на провод посторонних предметов, касание проводов техникой, качание проводов, обрыв и падение троса
Двухфазное КЗ на землю	Набросы на провод посторонних предметов, обрыв и падение троса, падение опор
Обрыв провода	Ветер, гололед, действие техники вблизи ВЛ, износ провода
Обрыв провода и падение провода на землю	Ветер, гололед, действие техники вблизи ВЛ, износ провода

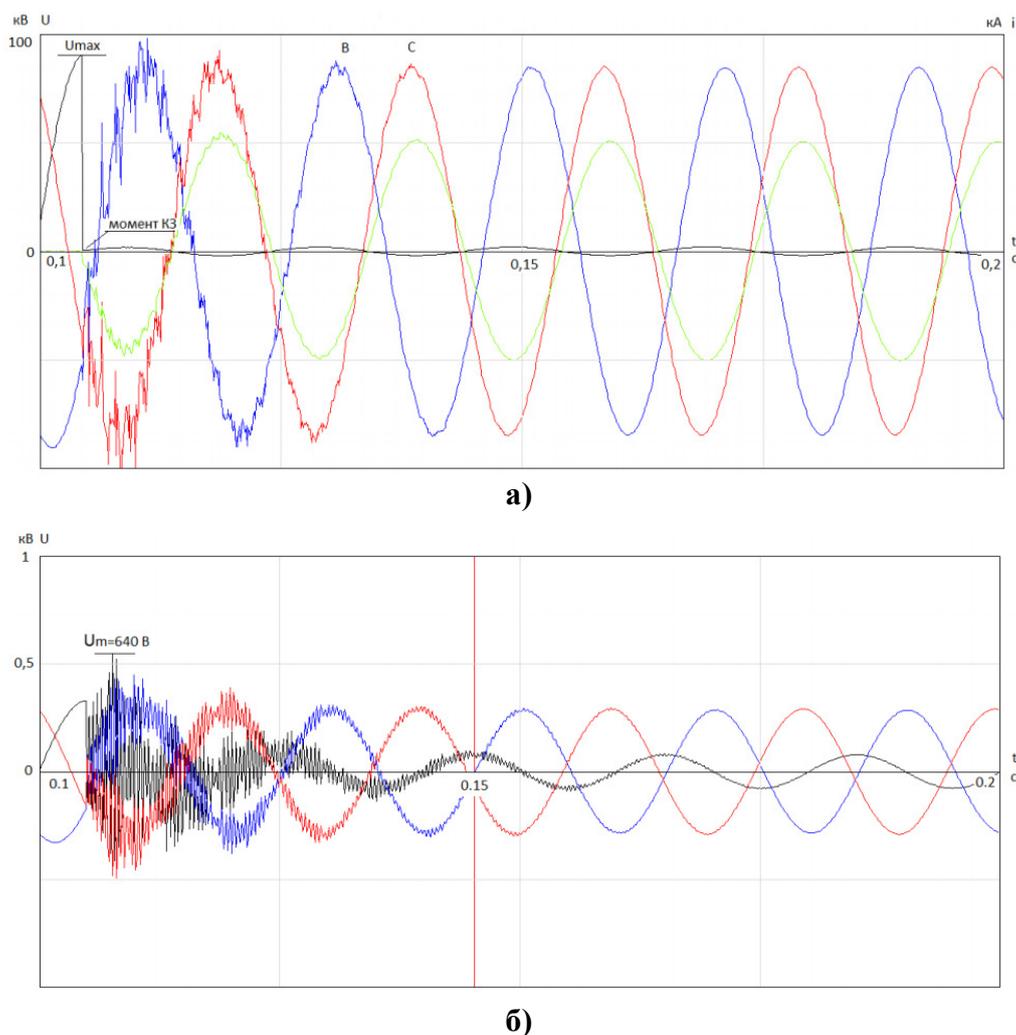
Исследования аварийных процессов производились при помощи моделирования электромагнитных переходных процессов в простейшей радиальной сети 110/10/0,4 кВ с учетом трансформаторных связей. Общий подход и методология могут быть распространены и на более сложные конфигурации сетей 110 и 10 кВ. В модели рассматривались процессы, вызванные самой аварией, а также процессы, связанные с коммутациями выключателями питающей подстанции 110 кВ в цикле ТАПВ как средством устранения аварии.

В модели учтена распределенность параметров ВЛ-110 и ВЛ-10 кВ, что позволяет рассматривать процессы при аварии в любой точке воздушной линии, электромагнитные процессы в модели рассмотрены в трехфазной постановке. Учтены электромагнитные связи обмоток трансформаторов 110/10 (схема соединения обмоток «звезда с нулем — треугольник») и 10/0,4 кВ («треугольник-звезда с нулем»), потери в меди и в стали трансформаторов. Первичные и волновые параметры ВЛ-110 и ВЛ-10 кВ приняты усредненными, в соответствии с рекомендациями [3]. Принято, что к шинам 0,4кВ непосредственно подключен потребитель незначительной мощности.

Коммутации в схеме, связанные определенным типом аварии (табл.1), осуществляется управляемыми по времени коммутаторами, присоединенными в заданную точку ВЛ-110. Цикл ТАПВ ВЛ осуществляется при помощи модели выключателя, управляемого по времени и работающего в режиме О-В-О с гашением дуги при переходе тока через ноль. Используется двухэтапный принцип моделирования: выход на рабочий режим частоты 50 Гц, затем создание аварийных коммутаций. На рисунке 1 в качестве примера приведены расчетные осциллограммы процессов в точке однофазного КЗ на ВЛ-110 вблизи ПС 110/10 кВ (а) и на шинах потребителя 0,4 кВ (б).

На данных расчетных осциллограммах показаны характерные процессы, возникающие при КЗ на максимуме фазного напряжения. После возникновения КЗ в сети 110 кВ возникают высокочастотные колебания, связанные с волновым процессом разрядки распределенной емкости аварийной фазы. Аперриодическая составляющая тока КЗ отсутствует, что соответствует физике процессов. На шинах потребителя наблюдаются высокочастотные колебания на всех фазах. На аварийной фазе высокочастотные колебания приводят к перенапряжениям с уровнем порядка 640 В ( $2,06U_{\text{фм}}$ ). В квазиустановившемся режиме КЗ на шинах потребителя наблюдается следующее: на аварийной фазе уровень напряжений  $U_{\text{фм}} = 77$  В (0,25 от номинального), на фазах В,С  $U_{\text{в}} = 286$  В,  $U_{\text{с}} = 290$  В (0,92 и 0,93 от номинального).

Далее в модели возможна реализация процесса отключения ВЛ-110 со стороны питающей ПС и повторного включения, которое приведет к соответствующим электромагнитным процессам и искажению 3-фазного напряжения на шинах 0,4 кВ.



**Рисунок 1.** Расчетные осциллограммы процессов при КЗ на ВЛ-110 кВ в момент максимума напряжения: а) напряжения на ВЛ-110, ток КЗ; б) напряжения на шинах потребителя 0,4 кВ

Вышеописанный подход может быть использован в схемах любой конфигурации с целью прогнозирования возможных опасных с точки зрения нарушения технологических циклов, так и надежности оборудования 0,4 кВ, процессов. Предварительное моделирование может быть использовано также для выбора наиболее подходящих средств защиты (фильтры присоединений, защита от перенапряжений, и пр.) в конкретных схемах.

### Список использованной литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Правила устройства электроустановок, 7-е изд
3. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: ЭНАС, 2012. — 376 с.

УДК 621.31

*Солодухина И.А.*

Публичное акционерное общество «Сургутнефтегаз» НГДУ «Сургутнефть»  
управление электросетевого хозяйства, г.Сургут

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

г. Сургут

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены факторы, влияющие на качество электроснабжения, причины потерь электроэнергии в системах энергоснабжения. В статье также представлен ряд методов для повышения эффективности электроснабжения промышленных предприятий.

**Ключевые слова:** *повышение эффективности, качество электроснабжения, энергетическая система, потери электроэнергии.*

*Solodukhina I.A.*

Public Joint Stock Company “Surgutneftegaz” NGDU “Surgutneft” Electric Grid  
Management Department, Surgut

## WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM

Surgut

**Abstract.** This article discusses the factors affecting the quality of electricity supply, the causes of electricity losses in power supply systems. The article also presents a number of methods for improving the efficiency of power supply to industrial enterprises.

**Key words:** *efficiency improvement, power supply quality, power system, power losses.*

Повышение эффективности систем энергоснабжения (СЭС) — одна из главных задач в электроэнергетике. Интерес к этой теме вызван необходимостью сбережения электроэнергии, уменьшения и исключения ее потерь, снижения аварийных ситуаций на производстве. Все вышеперечисленные проблемы являются чрезвычайно важными в современных условиях развития экономики в России.

Конкурентоспособность того или иного предприятия на рынке во многом зависит от правильности и оперативности их решения.

Анализ систем электроснабжения и энергетической эффективности промышленных предприятий зачастую выявляет нецелесообразные затраты энергоресурсов и неоправданные потери электроэнергии.

Потери электрической энергии происходят непосредственно в момент процесса ее передачи в элементах системы электроснабжения (трансформаторных подстанциях, распределительных устройствах, линиях электропередач).

Электроэнергия в национальных сетях передается по высоковольтным линиям электропередач в виде синусоидальных волн напряжения и силы тока с частотой 50 Гц, причем синхронно передаются три фазы, сдвинутые относительно друг друга на  $120^\circ$ .

При ее передаче на большие расстояния, с целью минимизации потерь, используется высокое напряжение. При входе на объект потребителя или вблизи конкретной установки осуществляется понижение напряжения в зависимости от используемого оборудования. Как правило, напряжение для промышленных потребителей понижается до 440 В, а для домохозяйств, офисов и т. п. — до 240 В.

Качество электроснабжения и условия использования энергии зависят от различных факторов, в том числе от сопротивления электрических сетей, а также от влияния некоторых видов оборудования и использования энергии на характеристики энергоснабжения. В энергетических системах крайне необходимы стабильность напряжения и отсутствие искажений форм волн.

Для устранения потерь ЭЭ, следует осуществить поиск источников и причин их возникновения. Высокая доля потерь в СЭС промышленных предприятий возникает, в основном, из-за эксплуатации устаревшего и изношенного оборудования, состояние которого требует неотложного ремонта, а также из-за отсутствия внедрения контрольных автоматизированных систем слежения и регулирования расходов электропотребления и несоответствия современным требованиям стандартов учета. Существенные технологические потери ЭЭ в СЭС предприятий, обычно, вызваны следующими причинами:

- неудовлетворительным состоянием действующих электрических сетей из-за снижения объемов капитальных ремонтов, реконструкции и замены технически устаревшего и изношенного оборудования;
- вынужденной работой элементов СЭС в неоптимальных режимах при повышенном электропотреблении в часы максимальных нагрузок;
- эксплуатацией цеховых трансформаторов с низким коэффициентом загрузки; — наличием значительных перетоков реактивной мощности в электрических сетях, которые приводят не только к увеличению потерь

электроэнергии, но и к снижению их пропускной способности, увеличению потерь напряжения [3];

- нерациональными режимами работы основного электрооборудования;
- устаревшими схемами питающих и распределительных сетей;
- стабильной неравномерностью суточных графиков нагрузок;

В настоящее время существует целый ряд методов повышения эффективности электроснабжения промышленных предприятий.

Рассмотрим методы, которые наиболее практичны и экономически рациональны для повышения эффективности СЭС промышленных предприятий.

1. Модернизация и реконструкция действующих СЭС предприятий, распределительных схем питания цеховых трансформаторных подстанций (ТП) и электроустановок. Это осуществляется путем замены устаревшего электрооборудования на новое с повышением КПД и степени надежности, внедрения энергосберегающих технологий. Такой метод является самым распространенным.

2. Выравнивание неравномерных суточных графиков электрических нагрузок.

Этот метод позволяет существенно уменьшить пиковый максимум нагрузки, что в свою очередь способствует снижению потерь и экономии электрической энергии в сети, так как на производстве могут использовать одновременно сталеплавильные печи различного рода, прокатные станы, сварочные установки и т.д. Если предприятие работает в две смены (утренняя и вечерняя), то можно ввести третью — ночную, за счет которой разгрузить «пик» осветительной нагрузки второй смены, тем самым заполнив ночной провал суточного графика потребления. Введение интервала между рабочими сменами в период резко-выраженного максимума нагрузки энергосистемы также решает проблему энергосбережения.

Для обеспечения стабильной работы промышленного предприятия необходимо проектировать графики ограничения потребления мощности электроэнергии при перерывах электропотребления на основании данных об удельных ущербах, комплексных схем технологического процесса и системы электроснабжения [2].

Недостатки этого метода приводят к нарушению нормальных производственных режимов работы предприятий и ухудшению условий труда рабочих.

3. Установка компенсирующих устройств.

Нагрузка на предприятиях обычно бывает активная, емкостная и индуктивная в зависимости от типа электрооборудования. Реактивная энергия отрицательно воздействует на внутренние электросети цеха, создавая электромагнитные поля в электроустановках. Реактивный ток приводит к снижению качества электроэнергии. Компенсирующие устройства предназначены для компенсации емкостной или индуктивной составляющей переменного тока. Используются

для компенсации реактивной мощности в узлах электроэнергетической системы и компенсации реактивных параметров линий. Установка компенсации реактивной мощности (УКРМ) обеспечивает увеличение и поддержание на нормативном уровне величины коэффициента мощности трехфазной распределительной сети. Основной задачей УКРМ является аккумуляция в конденсаторах реактивной мощности.

УКРМ способствует снижению:

- перетоков реактивной мощности;
- потерь электроэнергии в распределительных питающих электросетях и увеличения их пропускной способности для подключения новых нагрузок без увеличения стоимости сетей;
- общих расходов на электроэнергию;
- нагрузки трансформаторных подстанций, электроустановок и силовых линий;
- тепловых потерь электрического тока; — воздействия высших гармоник и несимметричности фаз.

В устройстве УКРМ применяются конденсаторы, обеспечивающие надежность и долговечность. Наличие в конденсаторной установке УКРМ специализированных тиристорных быстродействующих пускателей, работающих с опережением по времени для коммутации фазовых конденсаторов, срабатывающих при изменении  $\cos \varphi$ , продлевает время их безотказной работы.

Использование тиристорного регулирования компенсирующих устройств (КУ) производит плавное и непрерывное регулирование емкости компенсирующего устройства по заданному закону регулирования [4].

#### 4. Энергоэффективная эксплуатация трансформаторов цеховых подстанций.

Потери в трансформаторах бывают двух типов — потери в обмотках и потери в сердечнике. Потери в обмотках непосредственно имеют связь с сопротивлением медных обмоток и выделением тепла, величина этих потерь пропорциональна квадрату тока и составляет 1–3 % номинальной мощности при 100 % загрузки трансформатора.

На трансформаторных подстанциях имеется избыток установленных мощностей, вследствие чего среднее значение загрузки относительно низкое. Этот избыток мощностей необходим для обеспечения надежной и бесперебойной работы трансформаторов в аварийной ситуации, при выходе из строя одного из них. Методы оптимизации применимы ко всем ТП, согласно оценкам оптимизация загрузки возможна в 25% случаев.

В реальных условиях среднее значение коэффициента загрузки всегда меньше 100%, а максимальный КПД трансформатора, независимо от мощности, достигается при его загрузке в среднем на уровне 45–75% от номинальной загрузки.

Такой метод позволяет определить оптимальные варианты повышения эффективности для трансформаторной подстанции:

— если общая нагрузка ниже 40–50% номинальной мощности ТП, то в качестве меры энергосбережения логично повысить энергоэффективность подстанции за счет отключения одного или нескольких трансформаторов, доведя значение коэффициента загрузки оставшегося или оставшихся в работе трансформаторов до оптимальной величины;

— если общая нагрузка превышает 75% номинальной мощности ТП, то для достижения максимального КПД трансформаторов необходимо установить дополнительные мощности;

— если трансформаторы исчерпали свой ресурс в ходе эксплуатации и необходима модернизация устаревших ТП, целесообразно их заменить на трансформаторы с пониженным уровнем потерь, что позволяет снизить потери на 20–60% [1].

### Список используемой литературы

1. Данилов О.Л. Основы энергосбережения. — М.: Изд. Дом МЭИ, 2010. — 424 с.
2. Ефременко В. М., Белявский Р.В. О влиянии перетоков реактивной мощности на параметры систем электроснабжения промышленных предприятий // Вестник КузГТУ. — 2011. — № 3. — С. 60–63.
3. Железко Ю. С., Артербев А. В., Савченко О. В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. Руководство для практических расчетов. — М.: НЦ ЭНАС, 2003. — С. 20–29.
4. Овчаренко Т.И., Васюченко П.В., Кирисов И.Г. Анализ существующих систем электроснабжения предприятий как фактор повышения их эффективности // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. — 2012. — № 7. — С. 17–22.

УДК 621.316.13

*Целебровский Ю.В., Черненко Н.А.*

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

## АНАХРОНИЗМЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 6...35 КВ

г. Сургут

**Аннотация.** В докладе показано, что надёжность и электробезопасность распределительных сетей существенно снижает использование двух устаревших технических решений, противоречащих предписаниям действующих нормативных документов: использование дугогасящих реакторов, не обеспечивающих гашение электрической дуги однофазных замыканий на землю, и длительная работа сети с этим повреждением на одном из присоединений.

**Ключевые слова:** *дугогасящий реактор, однофазное замыкание на землю, селективное отключение повреждённого фидера.*

*Tselebrovskii Iu.V., Chernenko N.A.*

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

## ANACHRONISMS IN ELECTRIC NETWORKS WITH VOLTAGE 6 ... 35 KV

Surgut

**Abstract.** The report shows that the reliability and electrical safety of distribution networks significantly reduces the use of two outdated technical solutions that contradict the requirements of the current regulatory documents: the use of arc suppression coil that do not provide single-phase earth fault extinguishing of the electric arc, and long-term operation of the network with this damage on one of the feeders.

**Keywords:** *arc suppression coil, single-phase earth fault, selective disconnection of damaged feeder.*

Толковый словарь русского языка [6] определяет анахронизм как «пережиток старины». Применительно к техническим системам (в том числе и к электрическим сетям) анахронизмами можно назвать устаревшие технические решения, которые снижают эффективность и безопасность функционирования и эксплу-

атации электроустановок. Упорное и безосновательное использование старых технических решений препятствует внедрению новых прогрессивных устройств и методов, проверенных и одобренных практикой.

В распределительных электрических сетях напряжением 6...35 кВ к таким «пережиткам» можно отнести, как минимум, два:

- использование для заземления нейтрали сети дугогасящих реакторов, не обеспечивающих гашение электрической дуги, возникающей при однофазных замыканиях на землю;
- отсутствие в большинстве действующих сетей селективных защит от однофазных замыканий на землю и длительная работа сети с этим повреждением на одной из линий.

Современные нормативные документы [7, 8, 9] не предписывают применения этих решений, а, наоборот, ограничивают и запрещают их применение.

Рассмотрим вначале дугогасящие реакторы.

Параграфом 1.2.16 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [9] предписано, что нейтраль сети 6...35 кВ может быть как изолированной, так и «заземлённой через дугогасящий реактор или резистор». Следует подчеркнуть, что у дугогасящего реактора (ДГР) в 7-м издании ПУЭ появилась альтернатива — резистор в нейтрали сети. Этому способствовало как изучение мирового опыта успешного использования резистивного заземления [11], так и опытно-промышленная эксплуатация сетей с резистором в нейтрали в Российской Федерации и, в частности в Тюменьэнерго [3, 10, 12 и др.]. Это уже говорит о ДГР как об устаревшем оборудовании, что не исключает его использования при правильной настройке. Однако, последнему в эксплуатации уделяют мало внимания.

Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) [7, 8] предписано (2.8.16 [7] и 5.11.11 [8]), что напряжение несимметрии сети, в которой устанавливается дугогасящий реактор, должно быть не выше 0,75% фазного напряжения, то есть для сетей 35 кВ, 10 кВ и 6 кВ соответственно — 152 В, 43 В и 26 В. «Снижение напряжения несимметрии и смещения нейтрали до указанных значений должно быть осуществлено выравниванием ёмкостей фаз сети относительно земли...». В сетях с воздушными линиями (ВЛ), особенно при наличии двухцепных ВЛ, напряжения несимметрии, часто бывает выше указанных значений, и, как показывает наши измерения, может достигать 1500 В (сеть 35 кВ с двухцепными ВЛ). К сожалению, на практике не всегда учитывают процитированный пункт Правил эксплуатации и дугогасящие реакторы подключают в нейтраль несимметричных сетей. При этом напряжение смещения нейтрали превышает нормируемые тем же пунктом ПТЭ, что вынуждает ухудшать настройку ректора выше допустимой ПТЭ степени расстройки 5%. Это приводит к тому, что дуга при однофазном замыкании на землю не гаснет, то есть ДГР не выполняет своей функции.

В этом легко убедиться, проанализировав сравнительную статистику отключений фидеров в сетях с дугогасящими реакторами и в сетях с изолированной нейтралью. Приведём пример для сетей 10 кВ, с кабельными и воздушными линиями. В таблице 1 показаны данные для одного сибирского региона за 4 года.

**Таблица 1.** Число аварийных отключений в сетях напряжением 10 кВ

Сети 10 кВ с дугогасящими реакторами			Сети 10 кВ с изолированной нейтралью		
Суммарное число линий в рассматриваемых сетях	год	Удельное число аварийных отключений (на 1 линию в год)	Суммарное число линий в рассматриваемых сетях	год	Удельное число аварийных отключений (на 1 линию в год)
685	2016	0,220	742	2016	0,295
	2017	0,470		2017	0,500
	2018	0,533		2018	0,686
	2019	0,567		2019	0,658
	Среднее	0,448±0,078		Среднее	0,535±0,090

Из приведённых в таблице 1 показателей видно, что среднее удельное число отключений в сетях с дугогасящими реакторами несколько ниже, чем в сетях с изолированной нейтралью, однако ошибка средних значений говорит, что это отличие не существенно. В таблице 2 показаны типы отключений, говорящие о их причинах.

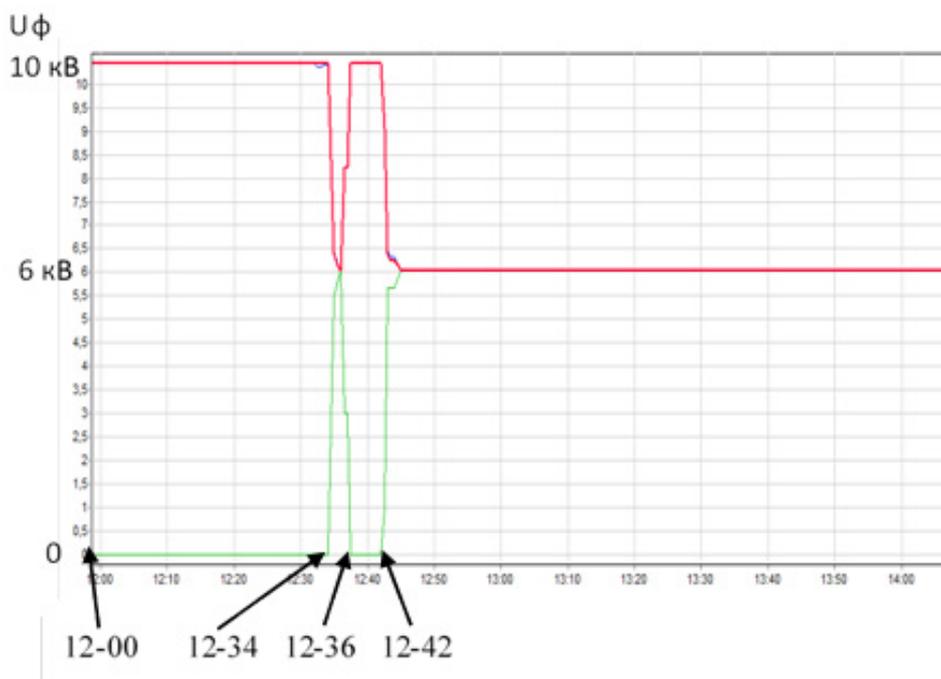
**Таблица 2.** Типы отключений в сетях напряжением 10 кВ (по табл. 1)

Тип отключения	Общее число отключений за 4 года	
	В сетях с ДГР	В сетях с изолированной нейтралью
Отключение короткого замыкания релейной защитой	1190	1509
Сигнализация «земля» и отключение короткого замыкания защитой	1	7
Сигнализация «земля» и отключение фидера вручную	3	71

Таблица 2 показывает, что в сетях с изолированной нейтралью неотключаемых однофазных замыканий на землю заметно больше, чем в сетях с дугогасящими реакторами. Это говорит о том, что часть ДГР выполняет свои функции. Однако, обращает на себя внимание тот факт, что доля однофазных замыканий

в общей аварийности составляет менее 5%. Это противоречит известным литературным данным [5 и др.], определяющим долю однофазных замыканий в сетях — в 70-90 %.

В диспетчерском журнале зафиксированы случаи, когда одновременно с отключением фидера фиксировалось замыкание на землю (вторая строка табл. 2). Поэтому можно предположить, что часть однофазных замыканий в результате возникающих перенапряжений (в том числе и дуговых) переходит в двух- и трёхфазные замыкания, при этом при отключении фидера не всегда фиксируется наличие «земли». Один из случаев перехода однофазного замыкания в многофазное приведён на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Фазные напряжения на шинах 10 кВ с поврежденным фидером

На рисунке показаны кривые фазных напряжений на шинах 10 кВ, к которым присоединён повреждённый фидер с однофазным замыканием на землю. О таком характере повреждении фидера говорят запись в оперативном журнале и факт, что на одной фазе (нижняя кривая) напряжение в 12 часов и позже равно нулю, а на двух других фазах (верхняя совмещённая кривая) — линейному напряжению сети. При поиске повреждения путём последовательного отключения фидеров (что тоже анахронизм) в 12-34 отключался повреждённый фидер и фазные напряжения на шинах во время отключения выравнивались до 6 кВ. Однако, через 6 минут после повторного включения повреждённого присоединения фидер отключился максимальной токовой защитой, и на всех 3 шинах распредустройства напряжение выровнялось до фазного — 6 кВ.

Максимальная токовая защита сработала 12-42 от трёхфазного замыкания. Осмотр показал, что повреждение произошло в кабельной муфте 10 кВ (запись в оперативном журнале).

Если исходить из литературных данных [5] о преобладающем числе однофазных замыканий по сравнению с другими видами повреждений, то логично предположить, что примерно такой же процент отключений фидеров произошел из-за перехода однофазных замыканий в двух- и трёхфазные.

Перейдём в свете изложенного к другому анахронизму — длительной работе сети при наличии в ней однофазного замыкания на землю (ОЗЗ). Здесь есть три аспекта: нормативный аспект, аспекты электробезопасности и надёжности сетей.

#### А) Нормативный аспект.

Правилами технической эксплуатации [7, 8] «допускается (п.2.8.11 [7] и п. 5.11.7 [8]) работа воздушных и кабельных линий электропередачи с замыканием на землю до устранения повреждения». Следует сразу же подчеркнуть, что в соответствии с 1.1.17 ПУЭ [9] «слово «допускается» означает, что данное решение применяется в виде исключения как вынужденное...». В п. 2.8.11 ПТЭ [7] указывается, что «в электрических сетях с повышенными требованиями по условиям электробезопасности... работа с однофазным замыканием на землю не допускается. В этих сетях все отходящие от подстанции линии должны быть оборудованы защитами от замыканий на землю». ПУЭ формулирует более конкретное указание: «1.7.84. В электроустановках напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью... Защита от замыканий на землю должна устанавливаться с действием на отключение по всей электрически связанной сети в тех случаях, в которых это необходимо по условиям безопасности...». Ниже рассмотрим эти случаи.

Как видим, основные нормативные документы электроэнергетики требуют отключения ОЗЗ защитами, а работу сети с замыканием на землю считают исключительным случаем, связанным с ограниченными ресурсами (п. 1.1.17 [9]).

#### Б) Электробезопасность.

Не отключаемые релейной защитой однофазные замыкания на землю создают опасные ситуации, в которых может оказаться человек или животное, а именно:

- недопустимые значения напряжений шага и прикосновения в месте ОЗЗ;
- возможность попасть под фазное напряжение;
- опасные напряжения на РЕ и PEN проводниках и оборудовании сети 0,4 кВ.

ПУЭ [9] нормируют заземляющие устройства электроустановок выше 1000 В в сетях с изолированной нейтралью по значению сопротивления:  $R \leq 250/I$  (п. 1.7.96). Из выражения для сопротивления видно, что напряжение на заземляющем устройстве при ОЗЗ не должно превышать 250 В. Это требование относится

к подстанциям и не относится к опорам ВЛ, у которых нормируется только сопротивление, при этом нормируемое значение зависит от удельного электрического сопротивления грунта и лежит в пределах от 10 до 30 Ом, а в ненаселённой местности не должно превышать 0,3 от значения удельного сопротивления грунта. В то же время предельно допустимым значением напряжения прикосновения в электроустановках выше 1000 В с изолированной нейтралью при времени воздействия более 1 с является напряжение 20 В [1]. Видим, что при ОЗЗ возможные напряжения могут быть значительно выше. Особенно это относится к замыканиям на трассе ВЛ. При соединении фазного провода с заземлённой траверсой и не скомпенсированном токе замыкания на землю напряжения прикосновения к опоре могут достигать 100 В и более. При падении провода на землю не скомпенсированный ток создаёт опасные напряжения шага. Не случайно поэтому в Финляндии, Швеции и других странах Европы, отключение повреждённых линий в сетях с изолированной нейтралью и в резонансно-заземленных сетях является обязательным требованием. При этом для обеспечения селективности защиты параллельно дугогасящему реактору кратковременно подключают резистор [11].

Падение провода на землю опасно даже при полностью скомпенсированном токе. Человек, подходящий к проводу не ощущает шагового напряжения и в попытке откинуть провод с дороги поднимает его с земли, попадая при этом под полное фазное напряжение сети, что приведёт к неминуемой смерти. Поэтому при ОЗЗ в качестве защитной меры при ОЗЗ следует применять одну из основных защитных мер, предусмотренных ПУЭ (п. 1.7.51) — защитное отключение.

Если ОЗЗ происходит на трансформаторной подстанции (ТП) с примыкающей сетью 0,4 кВ, то под напряжением оказываются нулевые провода и занулённые открытые проводящие части оборудования 0,4 кВ. Тот же ГОСТ [1] для сетей 0,4 кВ устанавливает предельное значение напряжения (при времени воздействия более 1 с) — 12 вольт. При норме на значение сопротивления заземляющего устройства 4 ома это напряжение возникнет уже при токе замыкания на землю в сети 6...10 кВ равном 3 А. Заметим, что ПТЭ (п.2.8.15 [7] и п. 5.11.10 [8]) допускает перекомпенсацию ёмкостного тока до небаланса в 5 ампер. Это означает, что на нулевых проводах и открытых проводящих частях возможно длительное существование напряжения 20 В, что уже является нижним пределом напряжений, вызывающих судорожное сжатие мышц. В городских сетях при наличии кабельных линий сопротивления заземления, как правило, ниже 4 Ом, однако, проведённые нами в г. Ханты-Мансийске измерения [2] показывают, что примерно у 30% ТП напряжения на нулевых проводах сети 0,4кВ и на ручных приводах разъединителей 10 кВ превышают 12 В и 20 В (Таблица 3).

**Таблица 3.** Превышающие нормы напряжения прикосновения у городских ТП, измеренные при ОЗЗ [2]

№ п/п	Условное наименование электроустановки	Сопротивление заземления, Ом	Напряжение прикосновения при ОЗЗ, В	Место измерения напряжения
1	ТП 3001	0,3	43,9	У внешнего ограждения
			124,1	У привода разъединителя
2	ТП 3202	0,82	20,8	У внешнего ограждения
3	ТП 1315	0,62	654	У привода разъединителя
4	Опора с разъединителем Ф11	0,46	20,3	У привода разъединителя
6	Опора № 17 с разъединителем	4,5	165	У привода разъединителя
7	Опора № 12 с разъединителем	6,3	151	У привода разъединителя
8	ТП 1316	5,5	22,6	У КТПН
			1000	У привода разъединителя
9	ТП 1116	0,65	>1000	У привода разъединителя

Таким образом, неотключаемые однофазные замыкания на землю недопустимы по условиям электробезопасности.

#### В) Надёжность сетей.

Надёжность распределительных сетей определяется в первую очередь работоспособностью оборудования и числом аварийных отключений линий электропередачи. При отключении двух- и трёхфазных коротких замыканий, токи которых достигают десятков килоампер, интенсивно расходуется ресурс выключателей. Если отключать токи однофазных замыканий на землю до момента их перехода в двух- и трёхфазные (а это — амперы), то ресурс выключателей можно существенно продлить. Это показывает опыт городских сетей г. Ханты-Мансийска, где были установлены селективные защиты от ОЗЗ [4]. За 5 лет работы защитами от ОЗЗ (на 4 городских подстанциях) было выявлено и отключено 19 замыканий. При этом в 7-и случаях во время выдержки защиты (1 с) ОЗЗ перешли в многофазные замыкания и были отключены максимальными токовыми защитами. За те же 5 лет непосредственно многофазные замыкания практически не фиксировались.

## Заключение

Надёжность и электробезопасность распределительных сетей напряжением 6–35 кВ существенно снижают широко используемые устаревшие технические решения:

- заземление нейтрали сети через дугогасящие реакторы, не обеспечивающие гашение электрической дуги, возникающей при однофазных замыканиях на землю;
- отсутствие в большинстве действующих сетей селективных защит от однофазных замыканий на землю и длительная работа сети с этим повреждением на одной из линий.

Эти анахронизмы противоречат требованиям Правил устройства электроустановок и Правил технической эксплуатации, а их использование существенно тормозит внедрение современных эффективных, предписанных Правилами и широко применяемых в мировой практике технических решений, а именно: заземление нейтрали сети через резистор и селективное отключение защитой повреждённых присоединений с однофазным замыканием на землю

## Список литературы

1. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: дата введения 1983-07-01. — М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. С. 237-242.
2. Дмитриев С. Н., Нестеров С. В, Целебровский Ю. В. Городские электрические сети. Обеспечение надёжности и безопасности электроснабжения // Новости электротехники № 5 (65), 2010. С. 56-58.
3. Дмитриев С. Н., Нестеров С. В, Целебровский Ю. В. Электрические сети малых городов. Обеспечение надёжности и безопасности электроснабжения // Новости электротехники. № 6 (66). 2010. С. 36-38.
4. Дмитриев С. Н., Щеглов А. И, Целебровский Ю. В. Городские электрические сети. Обеспечение надёжности и безопасности электроснабжения // Новости электротехники. № 1 (67), 2011. С. 26-29.
5. Лихачёв Ф. А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и компенсацией ёмкостных токов. М. : Энергия, 1971. 187 с.
6. Ожегов С.Н. и Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка. 72500 слов и 7500 фразеологических выражений / Российская Академия Наук. Институт русского языка; Российский фонд культуры. — М. : АЗЪ, 1993. С. 22

7. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Шестое и седьмое издания (все действующие разделы) // Библия электрика [Текст] ПУЭ, МПОТ, ПТЭ. — Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во. 2009. С.547-687.
8. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. — Москва : Проспект, 2021. — 192 с.
9. Правила устройства электроустановок. Шестое и седьмое издания (все действующие разделы) // Библия электрика [Текст] ПУЭ, МПОТ, ПТЭ. — Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во. 2009. С.5-464.
10. Снисаренко А. В., Березов Ю. И., Филиппов А. В., Целебровский Ю. В. Опыт эксплуатации электрических сетей напряжением 6...35 кВ с резистивным заземлением нейтрали // Энергетика Тюменского региона. 2003. № 3. С. 23-25.
11. Титенков С. С., Пугачев А. А. Режимы заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю // ЭНЕРГОЭКСПЕРТ. 2010. № 2. С. 36–43.
12. Целебровский Ю. В. Области применения различных систем заземления нейтрали // Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ: Труды Третьей Всероссийской научно-технической конференции. — Новосибирск, 2004. С. 29–33.

УДК 621.316.93

*Ломан В.А.*

НГТУ, г. Новосибирск

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНО-ЗАВИСИМЫХ УСТРОЙСТВ

г. Сургут

**Аннотация.** В работе проведено сравнение результатов низковольтных измерений макетов устройств для защиты от высокочастотных перенапряжений оборудования подстанций. Были исследованы макеты ЧЗУ с профилированным проводником и ЧЗУ с круглым проводником. Полученные результаты подтверждают возможность применять ЧЗУ с новой конструкцией проводника, при этом, не снижая эффективности и при уменьшении габаритов устройства.

**Ключевые слова:** *высокочастотные перенапряжения, трансформаторы, скин-эффект, частотно-зависимые устройства, витковые замыкания, старение изоляции.*

*Loman V.A.*

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF FREQUENCY DEPENDENT DEVICES

Surgut

**Abstract.** The paper compares the results of low-voltage measurements of prototypes of devices for protection against high-frequency overvoltage of substation equipment. The prototypes of the FDD with a profiled conductor and the FDD with a round conductor were investigated. The results obtained confirm the possibility of using a FDD with a new conductor design, while not reducing the efficiency and reducing the size of the device.

**Keywords:** *high-frequency overvoltages, transformers, skin effect, frequency-dependent devices (FDD), turn circuits, insulation aging.*

Существует, актуальная задача, стоящая перед энергосистемами: повышение надёжности энергоснабжения важных потребителей, особенно отрасль добычи углеводородов. Одним из самых слабых мест энергосистем является трансформаторное оборудование на подстанциях (ПС). Особенно это касается ПС 35 кВ из-за их широкой распространённости и большой частоты применения. Среди причин выхода из строя трансформаторного оборудования часто выделяют последствия воздействий импульсов высокочастотных перенапряжений грозового и коммутационного характера. Эти перенапряжения характеризуются высокой крутизной, при этом амплитуда может быть не большой и не вызывать сработки защитных устройств. Высокая крутизна вызывает большие градиентные перенапряжения на первичных витках обмоток трансформатора. А это может вызывать ускоренное старение межвитковой изоляции, тем самым ускоряя выход трансформатора из строя. Это усугубляется отсутствием способов контроля состояния витковой изоляции трансформаторного оборудования и малой изученностью данного процесса [1].

Особенно эта проблема актуальна для районов с высокой проводимостью грунта, таких как районы Крайнего Севера. Связано это с тем, что в таких условия сложно выполнить надёжную грозозащиту, а также обеспечить эффективную работу защитных устройств. Это подтверждается большим количеством неисправностей трансформаторного оборудования и высоким сопротивлением заземлений опор, которое в данных условиях тяжело поддерживать в пределах, требуемых нормативными документами [2-4].

Одним из наиболее перспективных способов защиты оборудования подстанций от воздействия высокочастотных перенапряжений, является применение устройств защиты, не зависящих от состояния заземления опор и работающих на принципе скин-эффекта. Одним из наиболее перспективных устройств основанном на данном эффекте является частотно-зависимое устройство (ЧЗУ) [5]. Принцип работы устройства заключается в резком повышении активного сопротивления при воздействии импульса высокочастотного перенапряжения (например, грозового имеющего частоту 200-300 кГц). При этом активная составляющая сопротивления снижает амплитуду набегающего импульса, а индуктивность устройства обеспечивает заваливание фронта, делая его безопасным для межвитковой изоляции обмоток трансформатора. Устройства положительно показали себя в рамках опытной 3-летней эксплуатации на подстанции Сугмутская, где были установлены на портале подстанции в количестве 3 штук.

Однако несмотря на это имеется ряд недостатков, одним из которых является малое активное сопротивление устройства, что требует увеличение его габаритов. Кроме того, ЧЗУ выполнено пока только для подстанций (ПС) и воздуш-

ных линий (ВЛ) 110 кВ. В связи с этим была предложена новая конструкция ЧЗУ, которая должна обеспечить повышение эффективности применения устройства и которую предполагается использовать на ПС 35 кВ.

Целью данного исследования является анализ эффективности применения ЧЗУ с новой конструкцией частотно-зависимого проводника, сравнение результатов с классической конструкцией ЧЗУ и оценка перспектив использования новой конструкции.

Для исследования был подготовлен макет ЧЗУ с новой конструкцией профилированного проводника (рис. 1), он представляет собой квадратную катушку, собранную из алюминиевых шин с нанесённой на них ферромагнитной лентой, поверхность покрытой изолирующим материалом в 2 слоя (низковольтной и высоковольтной термоусадочной трубкой). Алюминиевые шины размером 700\*30\*3 мм, скреплялись между собой полиамидной шпилькой и гайками с использованием полиамидных шайб. Выбор термоусадочных труб обусловлен простотой использования и монтажа, а также повышенными прочностными свойствами, позволяющими фиксировать ферромагнитный слой.



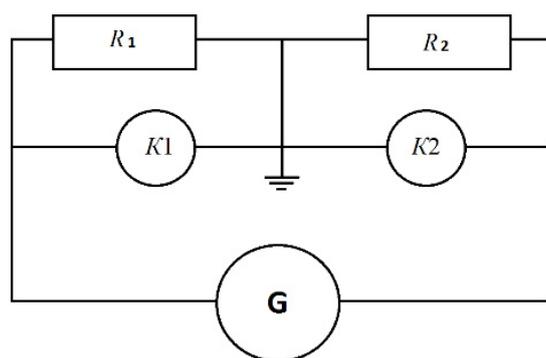
**Рисунок 1.** ЧЗУ с профилированным проводником

В качестве примера классической конструкции, был использован макет ЧЗУ состоящий из фазного провода А-95, смотанного в катушку, с нанесённых на него ферромагнитным материалом, диаметр катушки 670 мм (Рис 2.).



**Рисунок 2.** ЧЗУ с круглым проводником

Схема и фото измерительной установки показаны на рисунке.3. Для измерений применялся двухканальный осциллограф DS1022С. Методика измерения заключалась в последовательном соединении источника высокочастотных сигналов SFG-2010, макета ЧЗУ и шунтирующего малоиндуктивного сопротивления (0.1 Ом). С макета и шунта снимались показания напряжения, длительности сигналов. По характеру этих изменений при увеличении частоты (с 100 кГц, до 1 МГц) определялись значения полного сопротивления  $Z$ , сдвиг фаз  $\phi$  и в дальнейшем рассчитывались значения реактивного  $X$  и активного  $R$  сопротивлений макетов.



**Рисунок 3.** Схема измерений и фото измерительной установки

На экране осциллографа в режиме курсорных измерений, определялись периоды повторения сигналов и значения сдвига фаз между амплитудами сигналов, снимаемых с макета и шунтирующего сопротивления. По получаемым значениям полного комплексного сопротивления  $Z$  и фазового сдвига  $\phi$  рассчитывались значения реактивного  $X$  и активного  $R$  сопротивления образца.

На основании полученных измерений были построены графики изменений сопротивлений при увеличении частоты входного сигнала, на 1 метр проводника (рисунки 4–6).

Как видно из полученных результатов можно отметить, что эффективность ЧЗУ с профилированным проводником не ниже ЧЗУ с круглым проводником. Ранее проведённый анализ, показал, что у ЧЗУ с профилированным проводником активное сопротивление должно быть выше, круглого образца. Малое отличие от круглого образца, может быть объяснён малым количеством витков (5 витков), и наличием ёмкостных связей, нивелирующим эффект роста сопротивления на испытываемых макетах.

Однако, несмотря на это, полученные результаты говорят о возможности сборки ЧЗУ меньших габаритов, с возможностью модульной сборки за счёт конструктивных особенностей, а также использования профилированного проводника. Также, стоит отметить, что элементы профилированного проводник проще собирать за счёт простоты конструкции и малой длины.

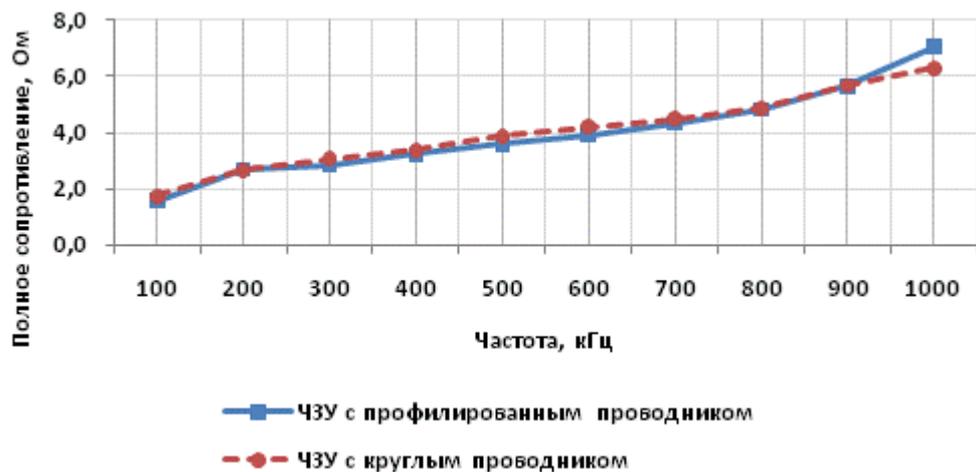


Рисунок 4. Полное сопротивление макетов

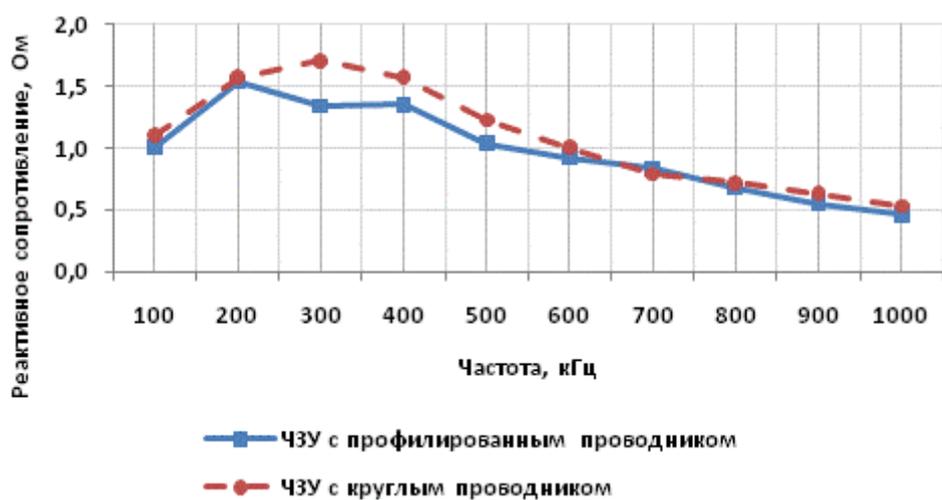


Рисунок 5. Активное сопротивление макетов

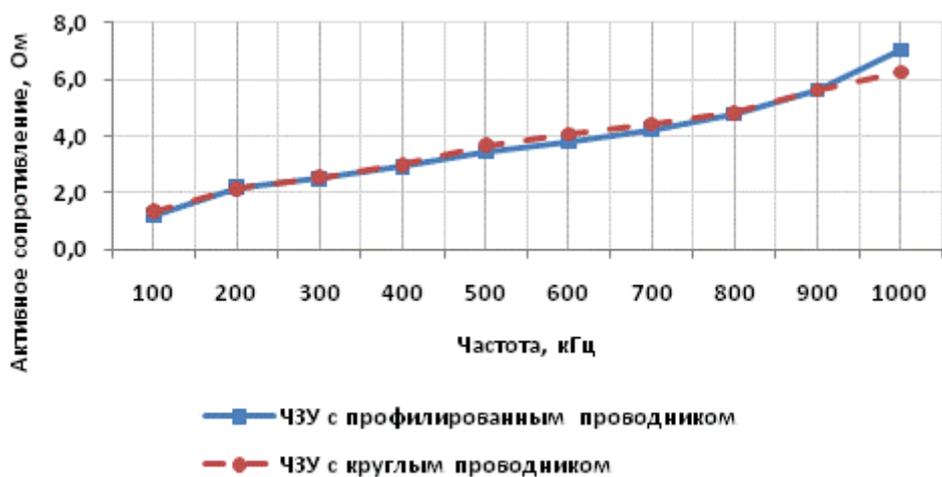


Рисунок 6. Реактивное сопротивление макетов

## Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-38-90101.

## Список использованной литературы

1. Брыкин В.П. К оценке крутизны грозových волн, набегающих на подстанции при обратных перекрытиях изоляции ВЛ // Электроэнергия. Передача и распределение Ежеквартальный спецвыпуск № 2(9), 2018 г. С. 38-41
2. Ефимов Б.В., Халилов Ф.Х., Селиванов В.Н. Грозовая повреждаемость высоковольтного оборудования подстанций и проблемы обеспечения надежности его эксплуатации в условиях грунтов с низкой проводимостью // Труды Кольского научного центра РАН. 2010. №1. С. 9-16
3. С.М. Коробейников, Н.Я. Илюшов, Ю.А. Лавров, В.А. Ломан, Е.А. Скрыбина Анализ факторов, влияющих на грозоупорность ВЛ // Новое в российской электроэнергетике. 2017. № 3. С. 52–60.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд., перераб. и доп.
5. S.M. Korobeynikov, and N.Ya. Ilyushov, High-current testing of frequency dependent device// Paper presented at The 11th International Forum on Strategic Technology, Novosibirsk, Russia, 2016, Pt. 2. — P. 326-328. doi: 10.1109/IFOST.2016.7884260

УДК 621.311

*Метенька Р.А., Садовская Л.В.*

Сибирский Государственный Университет Водного Транспорта, г. Новосибирск

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ПС 220 КВ ПЕТРОВСК-ЗАБАЙКАЛЬСКАЯ

г. Новосибирск

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос по определению электромагнитной обстановки (ЭМО) ПС 220 кВ Петровск-Забайкальская. Произведено определение и классификация источников электромагнитных помех. Разработаны рекомендации по обеспечению электромагнитной совместимости для аппаратуры РЗА, ПА, АИИС КУЭ подстанции.

**Ключевые слова:** *электромагнитная обстановка, электрическая энергия, электромагнитная совместимость.*

*Metenka R.A., Sadovskaya L.V.*

Siberian State University of Water Transport

## DETERMINATION OF THE ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT AT THE SUBSTATION 220 KV PETROVSK-ZABAIKALSKAYA

Novosibirsk

**Abstract.** The article discusses the issue of determining the electromagnetic environment at the substation 220 kV Petrovsk-Zabaikalskaya. The definition and classification of sources of electromagnetic interference is made. A recommendation was developed to ensure electromagnetic compatibility for equipment.

**Keywords:** *electromagnetic environment, electrical energy, electromagnetic compatibility*

В настоящее время при применении на подстанциях и электростанциях систем микропроцессорной (МП) релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА), автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП), автоматизированных систем диспетчерского управления

(АСДУ), а также систем сбора и передачи информации (ССПИ) и автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ), предусматривается строгое соблюдение требований электромагнитной совместимости (ЭМС) при проектировании, строительстве, производстве монтажных и пуско-наладочных работах. Устанавливаемая МП аппаратура на высоковольтных подстанциях подвергается воздействию электромагнитных полей, возникающих от разных факторов. Поэтому возникает необходимость оценки электромагнитной обстановки (ЭМО) на территории ПС и разработке мер по обеспечению ЭМС размещаемой аппаратуры и защиты вторичных цепей.

Электромагнитная совместимость (ЭМС) — это способность технических средств (устройств) функционировать с заданным качеством в определенной электромагнитной обстановке, не создавая при этом недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам и недопустимых электромагнитных воздействий на биологические объекты. Возникающие электромагнитные помехи (ЭМП) — электромагнитные явления, процессы, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования технических средств (устройств) [1].

Основными известными на данный момент источниками электромагнитных воздействий, оказывающих негативное влияние на МП аппаратуру РЗА, АСУТП, АИИС КУЭ и связи, являются следующие:

- Аварийные процессы в сети первичного оборудования

При возникновении аварийных ситуаций, например, коротком замыкании (КЗ) в сети первичного оборудования по проводникам заземляющего устройства (ЗУ) и естественным заземлителям протекают токи промышленной частоты амплитудой до нескольких десятков килоампер. Если между точками ЗУ, имеющими разный потенциал, проходит трасса кабелей управления, измерения или сигнализации, то указанная разность потенциалов может быть приложена к изоляции кабелей и/или к входам аппаратуры, к которой подключаются данные кабели.

- Разряды молний

При разряде молнии в молниеотвод, установленный на территории ПС, по проводникам системы заземления протекает импульсный ток амплитудой до 100 кА, длительностью 10/350 мкс. Разность потенциалов, возникающая при этом между различными точками ЗУ, зависит от импульсного сопротивления элементов ЗУ. Импульсные разности потенциалов могут быть приложены к изоляции вторичных цепей и к входам аппаратуры.

- Электростатические разряды

При разрядах статического электричества на корпус панелей управления возникают импульсы тока, длительность которых может быть менее одной наносе-

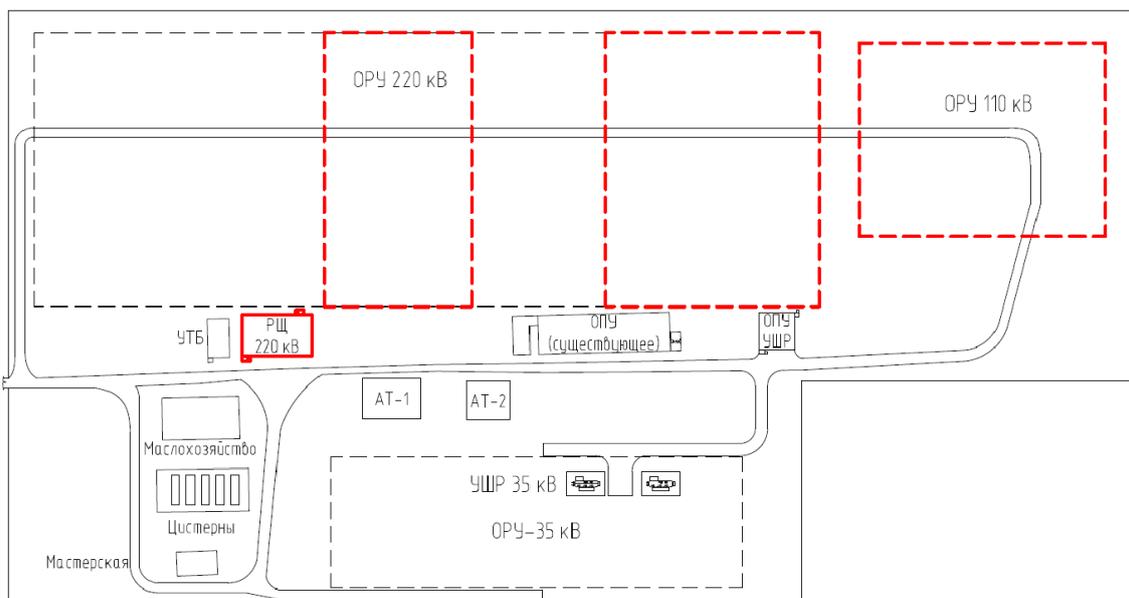
кунды. Такие импульсы тока оказывают воздействие на цепи микропроцессорной аппаратуры через паразитные емкостные связи. Результатом обычно является возникновение сбоев, «зависания» и перезагрузки цифровой аппаратуры.

Электромагнитная обстановка исследовалась на подстанции 220/110/35 кВ Петровск-Забайкальская, расположенной в городе Петровск-Забайкальский Забайкальского края. Подстанция введена в эксплуатацию в 1986 г.

На территории подстанции Петровск-Забайкальская размещены открытые распределительные устройства (ОРУ) 220, 110 и 35 кВ, два автотрансформатора 220 кВ. После реконструкции территория ОРУ 220 кВ расширится на четыре ячейки 220 кВ, кроме того в оперативный пункт управления (ОПУ) устанавливаются современные МП терминалы защит высоковольтных линий (рисунок 1). Поэтому возникает необходимость анализа вновь складывающейся ЭМО.

Уровень грозовой активности в районе расположения ПС согласно карте грозовой активности составляет от 40 до 60 часов в год. Молниезащита подстанции осуществляется при помощи отдельно стоящих молниеотводов и порталных молниеприемников. В связи с переустройством открытой части система молниезащиты подстанции также реконструируется [2].

На основании произведённых расчётов максимальный ток однофазного КЗ на ПС 220 кВ Петровск-Забайкальская составляет — на шинах 220 кВ (2025 г) — 7230 А. Время отключения КЗ складывается из нескольких составляющих:  $t_p$  — время срабатывания реле и  $t_v$  — полное время отключения выключателя. Максимальное время отключения при однофазном и при двухфазном КЗ ОРУ 220 кВ составляет от 0,105-0,355 с.

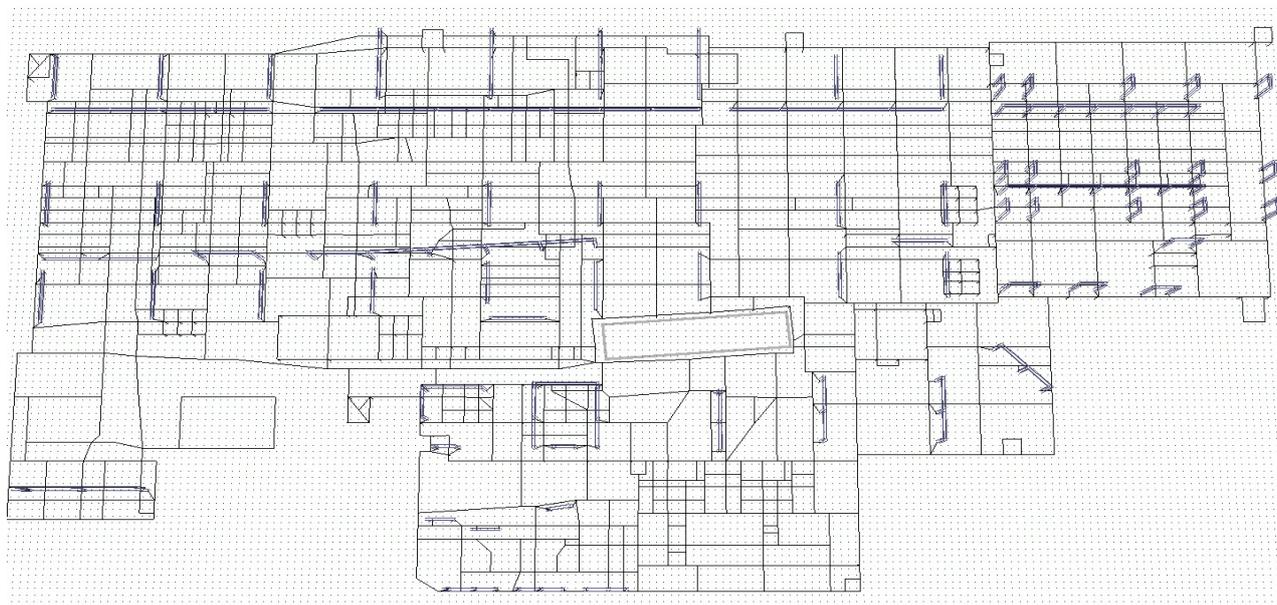


**Рисунок 1.** План ПС 220 кВ Петровск-Забайкальская после реконструкции

## Расчетная схема заземляющего устройства

За основу расчетной схемы ЗУ принята исполнительная схема ПС 220 кВ Петровск-Забайкальская, выполненная ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС» г. Новосибирск. По этой схеме ЗУ в программном комплексе «ОРУ-Проект» разработана модель ЗУ (рисунок 2) и выполнены следующие расчеты:

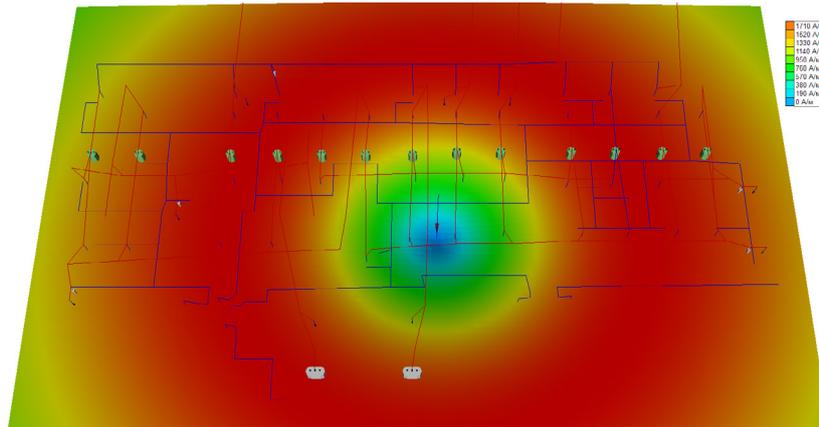
- разностей потенциалов, возникающих при КЗ в высоковольтных сетях;
- разностей потенциалов, возникающих при молниевом разряде;
- импульсных магнитных полей, возникающих при молниевом разряде.



**Рисунок 2.** Расчетная схема заземляющего устройства  
ПС 220 кВ Петровск-Забайкальская

## Уровни импульсного магнитного поля при разряде молнии

Согласно нормативным документам значение амплитуды импульса тока молнии при расчетах принималось равным 100 кА, временные параметры — 10/350 мкс. По результатам расчета уровни импульсных магнитных полей могут достигать значений 1710 А/м, а с учетом коэффициента ослабления полученные значения для существующего ОПУ и РЩ 220 кВ не превысят уровень четвертой степени жесткости испытаний (рисунок 3).

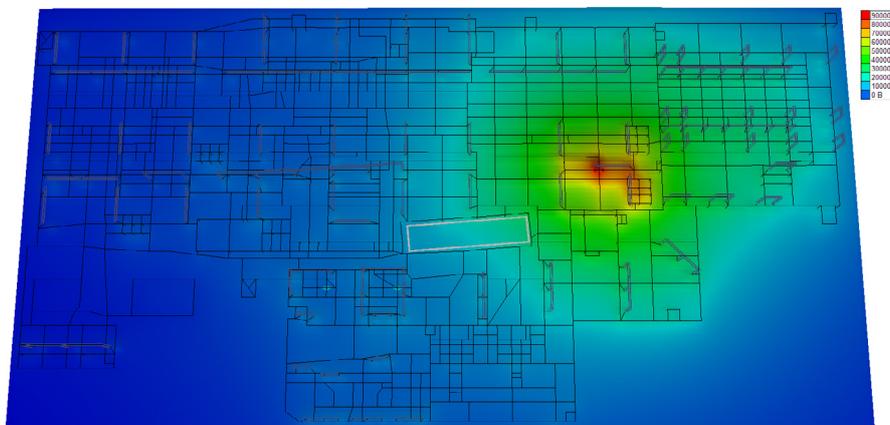


**Рисунок 3.** Импульсное магнитное поле при разряде молнии в молниеприемник на ОРУ 220 кВ ПС 220 кВ Петровск-Забайкальская

### Импульсное напряжение на ЗУ в местах прокладки кабелей

Напряжение на ЗУ молниеотводов, установленных на открытой части ПС, рассчитывалось в местах, представляющих наибольшую опасность.

Согласно расчетам, наибольшее напряжение на токоотводах и заземлителях молниеотводов составило 115 кВ, наибольшее напряжение на заглубленных заземлителях — 94 кВ (рисунок 4). Среднюю напряженность электрического пробоя в грунте принимают 300 кВ/м, в воздухе — 500 кВ/м, а напряженность электрического пробоя по поверхности земли принимают 100 кВ/м. Исходя из результата расчетов, при использовании дополнительного экранирования кабелей стальной полосой, проложенной вдоль кабельного лотка, минимальное расстояние между заземляющим спуском молниеотвода и наиболее близко расположенной к нему трассой прокладки вторичных цепей составит 4 метра.



**Рисунок 4.** Импульсное напряжение в грунте при разряде молнии на ОРУ 220 кВ ПС 220 кВ Петровск-Забайкальская

## Импульсное напряжение на входах цифровой аппаратуры при разряде молнии

При разряде молнии в молниеотводы возможно воздействие импульсного напряжения на изоляцию проходящих вблизи молниеприемника кабелей и на входы цифровой аппаратуры в помещении РЦ, щита собственных нужд (ЩСН), АСУТП, и др. Прокладка вторичных цепей экранированным кабелем с двухсторонним заземлением экрана снижает разность импульсных потенциалов, приложенную к входам МП аппаратуры и изоляции вторичных цепей. Максимальное допустимое импульсное напряжение, приложенное к входам МП аппаратуры и к оборудованию распределительных и конечных цепей составляет 4 кВ. При расчете наибольшая разность потенциалов, приложенная к входам МП аппаратуры на неэкранированном кабеле, составила 9,2 кВ, а на экранированном кабеле составила 500 В, что соответствует нормативным значениям.

## Уровни магнитного поля при КЗ

В случае возникновения КЗ в сети 220 или 110 кВ на ПС 220 кВ Петровск-Забайкальская уровни кратковременного магнитного поля промышленной частоты не превысят 2 кА/м. Наибольшее значение напряженности магнитного поля промышленной частоты, вблизи зданий ОПУ, не превышает 460 А/м, с учетом коэффициента экранирования уровень составит 57,5 А/м, это соответствует четвертой степени жесткости испытаний МП оборудования. Распределения магнитного поля приведены на рисунке 5.

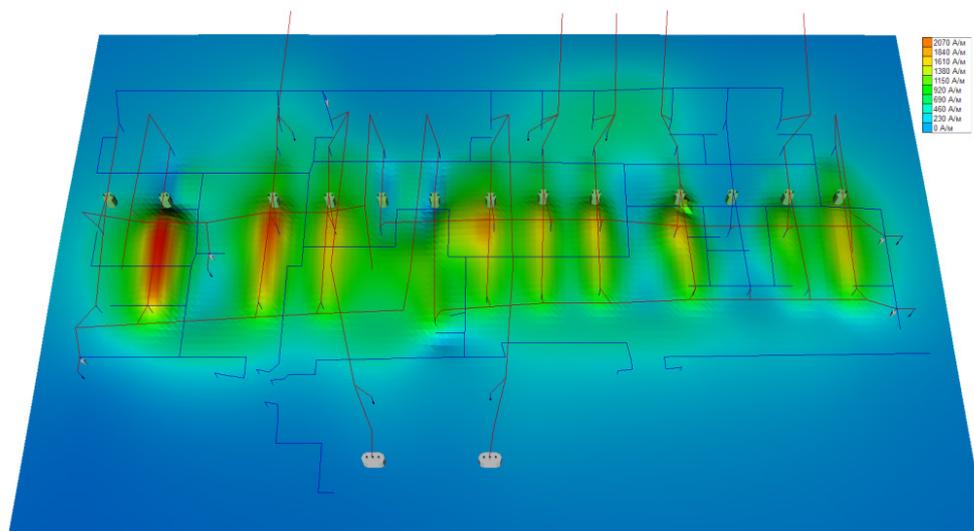


Рисунок 5. Распределение магнитного поля при КЗ на ОРУ 220 кВ

## Уровни помех при КЗ

В случаях КЗ в сети 220 или 110 кВ на подстанции, уровни колебательных затухающих помех не превысят 520 В (рисунок 6), что соответствует второй степени жесткости испытаний.

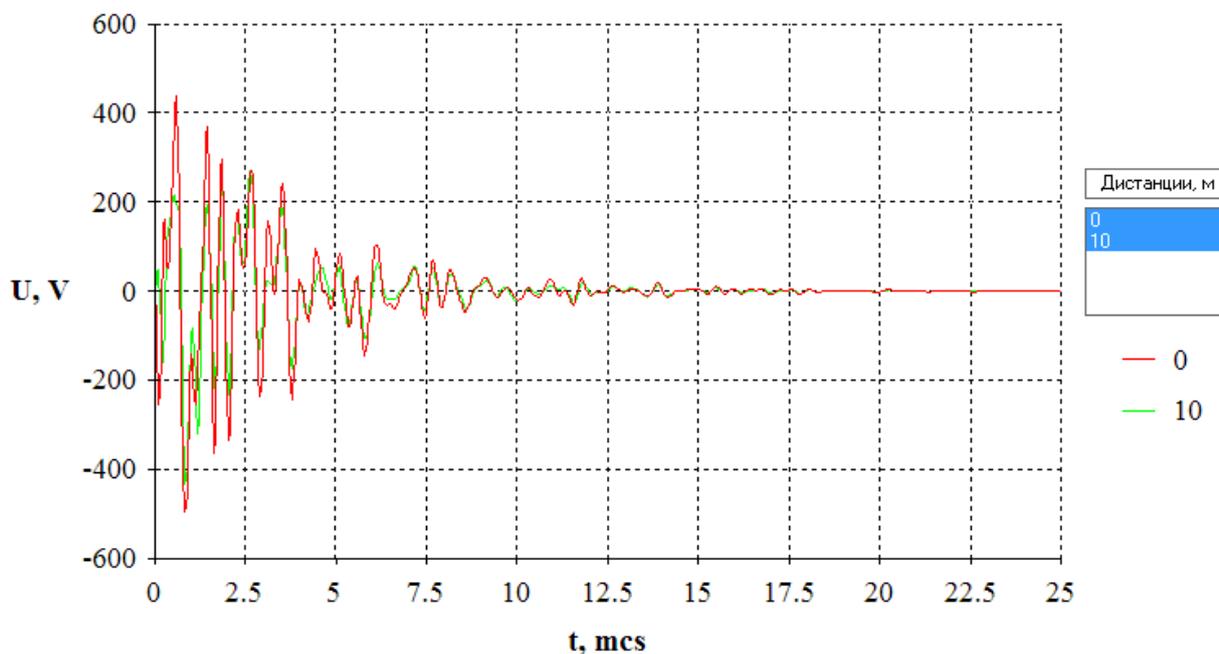


Рисунок 6. Уровень помехи при КЗ на ПС 220 кВ Петровск-Забайкальская

По результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы о необходимости проведения мероприятий для улучшения ЭМО подстанции.

С учетом экранирующих свойств стен существующего здания ОПУ и проектируемого РЦ 220 кВ, где будет установлена МП аппаратура, защита от импульсных магнитных полей при ударе молнии соответствует нормативным требованиям [3].

Для МП аппаратуры необходимо применять кабели с экраном, заземленным с двух сторон.

Применение проводных цепей, подключенных к входам цифровой МП аппаратуры верхнего уровня и выходящих за пределы здания, по условиям ЭМС является недопустимым.

Для исключения появления аварийных ситуаций от импульсных помех необходимо использовать устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП).

### **Список литературы**

1. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. Стандарт организации. СО 153-34.21.122-2003
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. СО 153-34.21.122-2003
3. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. СТО 56947007-29.240.044-2010

УДК 621.313.322

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

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»,  
г. Омск, Россия

<sup>2</sup> БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный  
университет», г. Сургут, Россия

## **УЧЕТ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА**

*г. Сургут*

Аннотация.

В статье рассматриваются вопросы компьютерного моделирования генераторов электростанций. Дается оценка влиянию учета системы регулирования возбуждения в математической модели генератора на результаты моделирования электромеханического резонанса. Делается вывод о том, что регулирование возбуждения позволяет снизить вероятность возникновения резонанса, но полностью исключить его не способно.

*Ключевые слова: моделирование, электромеханический резонанс, система возбуждения.*

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

<sup>1</sup> Omsk state technical university, Omsk

<sup>2</sup> Surgut state university, Surgut

## **CONSIDERATION OF THE GENERATOR EXCITATION CONTROL SYSTEM IN THE SIMULATION OF ELECTROMECHANICAL RESONANCE**

*Surgut*

Abstract.

The article deals with the issues of computer simulation of power plant generators. The influence of taking into account the excitation control system in the mathematical model of the generator on the results of modeling the electromechanical resonance is estimated. It is concluded that the regulation of excitation reduces the probability of resonance, but it is not able to completely eliminate it.

*Keywords: simulation, electromechanical resonance, excitation system.*

## I. Введение

Электромеханический резонанс является одним из ненормальных режимов работы агрегатов электростанции, имеющим значительную вероятность перехода к аварии.

Такие явления периодически отмечались на объектах электрогенерации как в России, так и за рубежом. Первые известные случаи аварий по причине электромеханического резонанса были зафиксированы в 1970 годах в США на электростанции Мохэв.

В качестве причины выделяют имеющиеся в прилегающей электрической сети устройства продольной емкостной компенсации (УПК), которые входят в электромеханический колебательный контур, образованный реактивными элементами сети с одной стороны, и ступенями, муфтами турбины и генератора с другой. Проблема электромеханического резонанса изучается довольно давно, разрабатываются мероприятия для его подавления [2; 6; 7]. Однако, для определенных случаев, например, для электростанций распределенной энергетики, данные мероприятия неэффективны. Это подтверждают происшествия, происходящие на объектах генерации [8].

Одним из вероятных способов предотвращения развития крутильных колебаний является настройка автоматического регулятора возбуждения (АРВ) [5]. При моделировании электромеханического резонанса без учета АРВ колебания в системе нарастают. Эффект нарастания колебаний имел четкую связь с величиной продольной компенсации.

## II. Постановка задачи

Рассмотрим модель энергосистемы, состоящую из турбины, генератора, прилегающей сети с УПК (рис. 1).

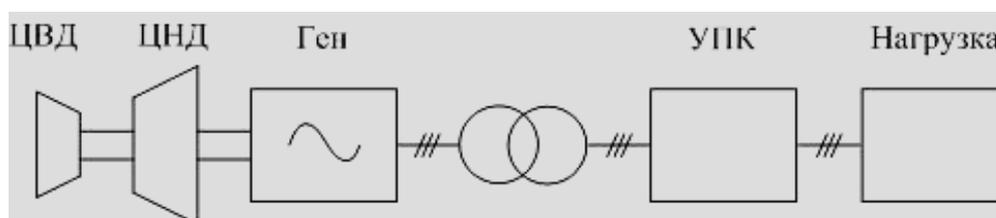


Рисунок 1. Структурная схема модели энергосистемы

Подадим возмущение — короткое замыкание, которое будет отключено действиями релейной защиты. В результате моделирования определено,

что при пренебрежении АРВ амплитуды колебаний вращающихся частей турбины имеют максимум при уровне продольной компенсации  $\mu=0,47$  и трехфазном коротком замыкании в качестве возмущения [4]. При значениях  $\mu=0,39\dots 0,53$  колебания будут незатухающими, что говорит о положительной обратной связи, вносимой УПК.

### III. Теория

Составим математическую модель исследуемой системы, используя уравнения Парка-Горева, законы Кирхгофа и уравнения механики [3].

$$\begin{aligned} & -(X_l + X_d) \frac{di_d}{dt} + X_{md} \frac{di_f}{dt} + X_{md} \frac{di_D}{dt} = \\ & = \omega_b [(R_l + R_a)i_d - (X_l + \omega_r X_q)i_q + \omega_r X_{mq} i_Q + e_{cd} + v_0 \sin \delta_r] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & -(X_l + X_q) \frac{di_q}{dt} + X_{mq} \frac{di_Q}{dt} = \\ & = \omega_b [(X_l + \omega_r X_d)i_d + (R_l + R_a)i_q - \omega_r X_{mq} i_f + \omega_r X_{md} i_D + e_{cq} + v_0 \cos \delta_r] \end{aligned} \quad (2)$$

$$-X_{md} \frac{di_d}{dt} + X_f \frac{di_f}{dt} + X_{md} \frac{di_D}{dt} = \omega_b \left[ -R_f i_f + \frac{R_f E_{fd}}{X_{md}} \right] \quad (3)$$

$$-X_{mq} \frac{di_q}{dt} + X_Q \frac{di_Q}{dt} = -\omega_b R_Q i_Q \quad (4)$$

$$-X_{md} \frac{di_d}{dt} + X_{md} \frac{di_f}{dt} + X_D \frac{di_D}{dt} = -\omega_b R_D i_D, \quad (5)$$

где  $v_f = R_f E_{fd} / X_{md}$

Напряжение на  $X_c$ :

$$\frac{de_{cd}}{dt} = \omega_b (X_c i_d + e_{cq}) \quad (6)$$

$$\frac{de_{cq}}{dt} = \omega_b (X_c i_q - e_{cd}) \quad (7)$$

Цилиндр высокого давления

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{1}{M_1} [-D_1(\omega_1 - 1) - K_{12}(\theta_1 - \theta_2)] \quad (8)$$

$$\frac{d\theta_1}{dt} = \omega_b (\omega_1 - 1) \quad (9)$$

### Цилиндр низкого давления

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{1}{M_2} [-D_2(\omega_2 - 1) + K_{12}(\theta_1 - \theta_2) - K_{23}(\theta_2 - \delta_r)] \quad (10)$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = \omega_b(\omega_2 - 1) \quad (11)$$

### Генератор

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{M_3} [T_m - T_e + K_{23}(\theta_2 - \delta_r) - D_r(\omega_r - 1)] \quad (12)$$

$$\frac{d\delta_r}{dt} = \omega_b(\omega_r - 1) \quad (13)$$

где  $T_e = i_q \psi_d - i_d \psi_q = (X_q - X_d) i_d i_q + X_{md} i_f i_q - X_{mq} i_Q i_d + X_{md} i_D i_q$ ;

$i_d, i_q, i_f, i_Q, i_D$  — продольная и поперечная составляющие токов статора, ток возбуждения, токи демпферных контуров,  $e_{cd}, e_{cq}$  — продольная и поперечная составляющие падения напряжения на емкости УПК,  $\omega_1, \omega_2, \omega_r$  — угловая скорость вращения соответствующего участка турбины,  $\theta_1, \theta_2, \delta_r$  — угол поворота соответствующего участка турбины,  $X_{md}, X_{mq}$  — индуктивные сопротивления взаимной индукции в продольной и поперечной осях,  $X_d, X_q$  — индуктивные сопротивления статора в продольной и поперечной осях,  $X_f$  — индуктивное сопротивление обмотки возбуждения,  $R_D, R_Q, X_D, X_Q$  — активные и индуктивные сопротивления демпферной обмотки в продольной и поперечной осях,  $R_a, R_f$  — активные сопротивления обмотки статора и обмотки возбуждения,  $X_l, R_l$  — индуктивное и активное сопротивления линии электропередачи,  $D_1, D_2, D_r$  — коэффициенты демпфирования участков турбины,  $M_1, M_2, M_3$  — постоянные инерции ступеней турбины и генератора,  $K_{12}, K_{23}$  — жесткость ступеней турбины,  $T_m, T_e$  — механический момент на валу, электромагнитный момент на валу.

## IV. Результаты имитационного моделирования

Имитационная модель и результаты ее работы для случая без учета АРВ представлены на рис. 2, 3.

Модель с учетом АРВ представлена на рис. 4, АРВ альтернативной структуры [1] показана на рис. 5. Отклонений угловых скоростей и скручивающих моментов, полученные с учетом АРВ (рис. 6) качественно не отличаются от полученных ранее (рис. 3). Было проведено моделирование для уровня продольной компенсации  $\mu=0,35...0,7$ , построены зависимости амплитуд механических координат от этого параметра (рис. 7, 8).

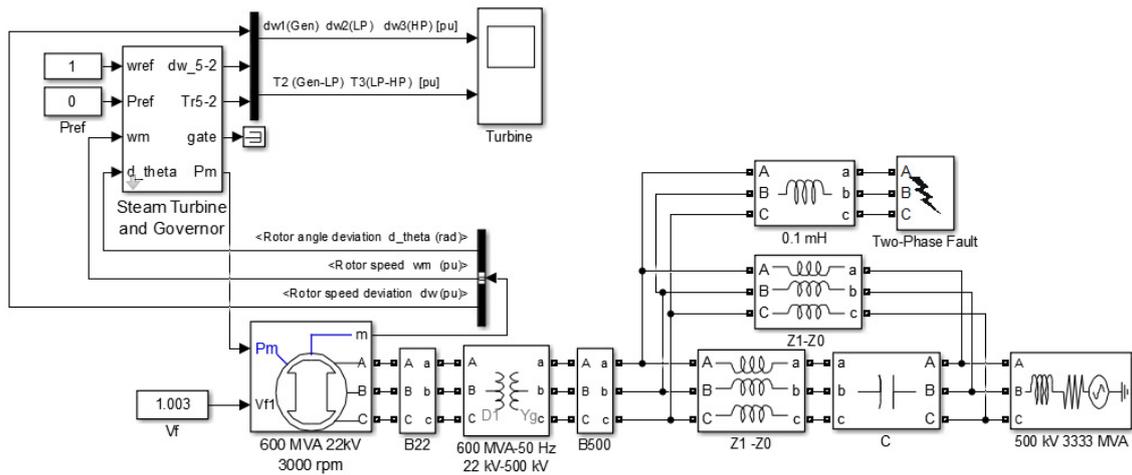


Рисунок 2. Имитационная модель без учета АРВ в Matlab Simulink

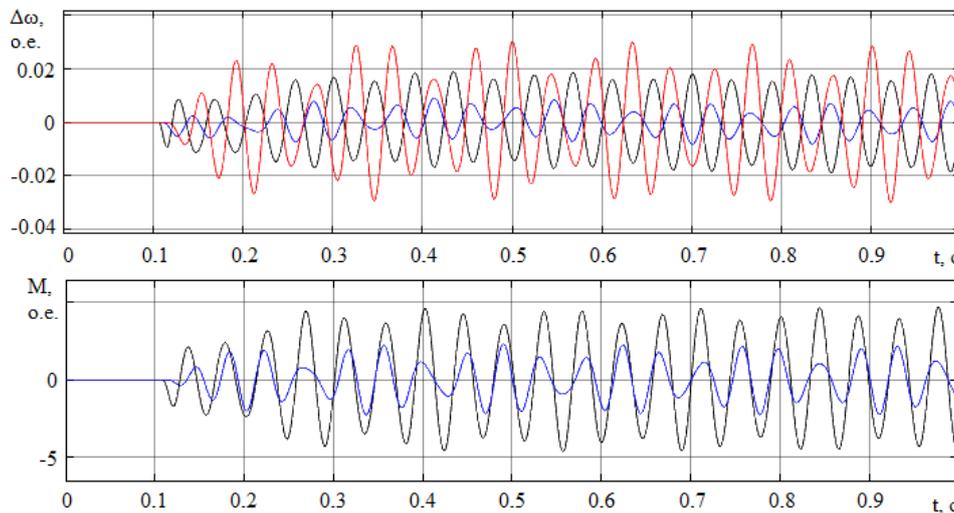


Рисунок 3. Результаты моделирования без учета АРВ для  $\mu=0,5$

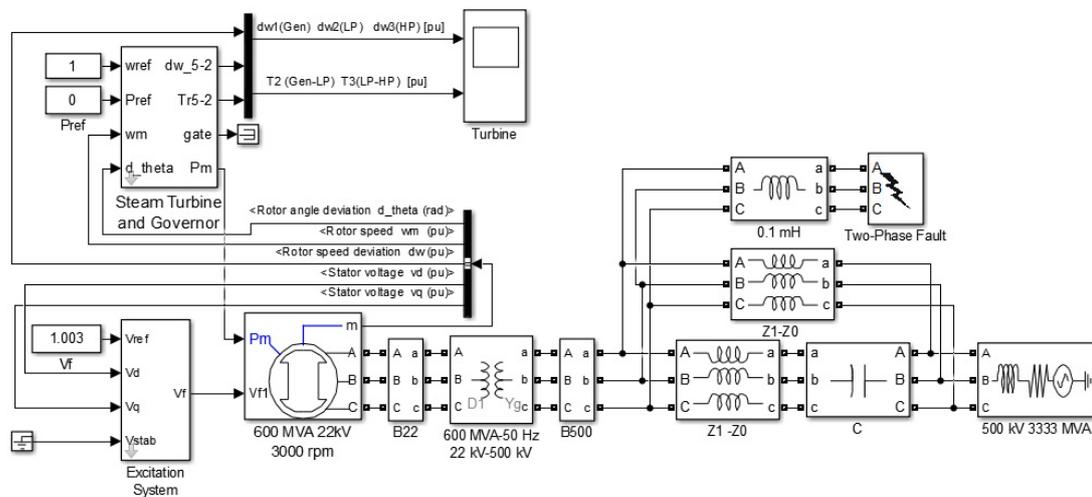


Рисунок 4. Схема в Matlab Simulink с учетом АРВ

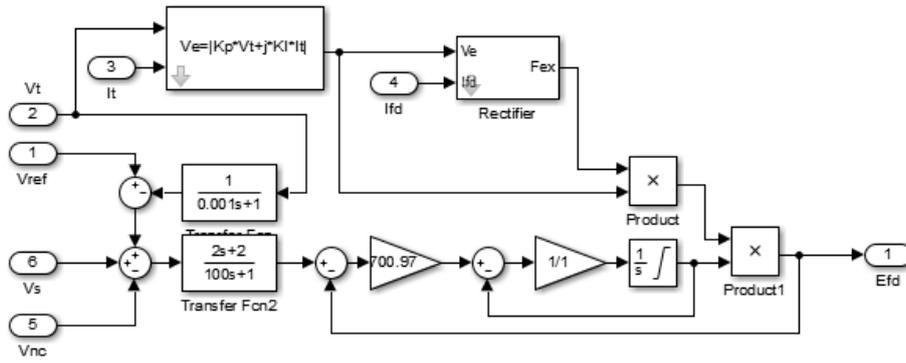


Рисунок 5. Схема блока АРВ в Matlab Simulink

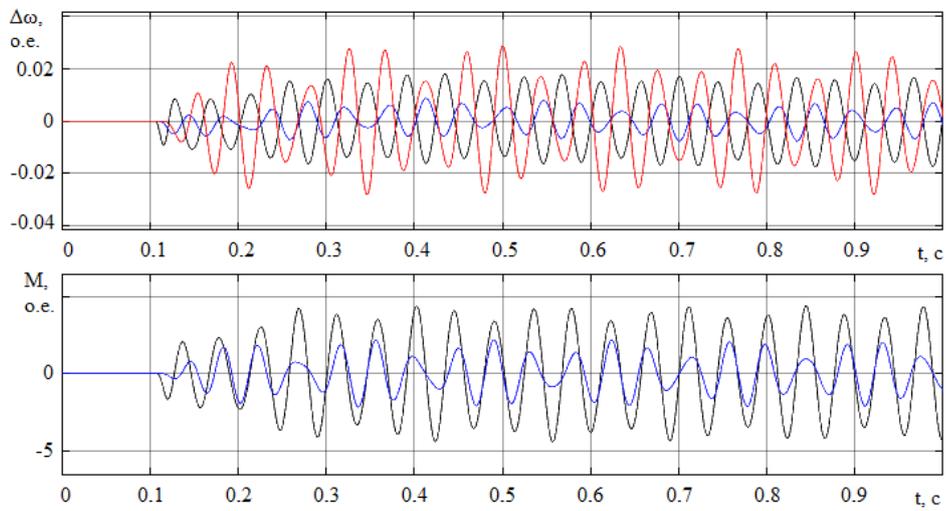


Рисунок 6. Временные диаграммы при учете АРВ и величине компенсации  $\mu=0,5$

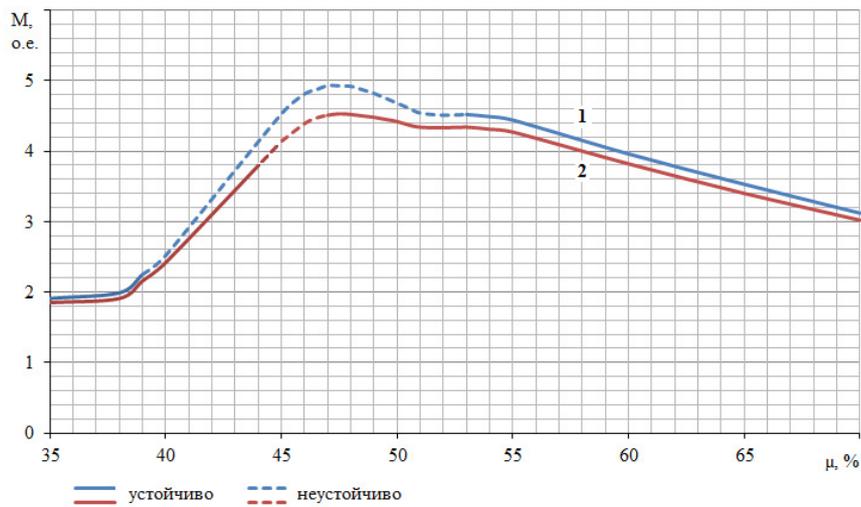
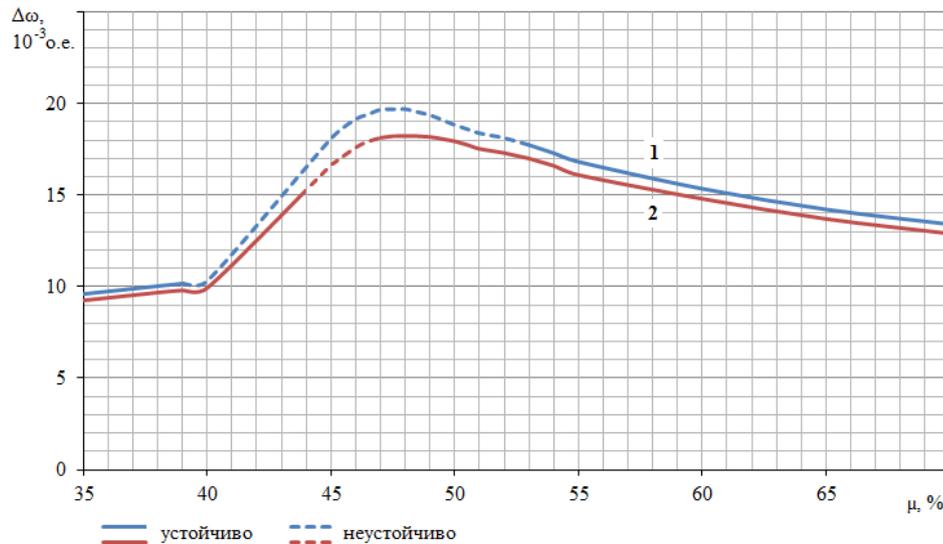


Рисунок 7. Зависимости амплитуд скручивающих моментов от степени продольной компенсации при неучете АРВ (1) и с учетом АРВ (2)



**Рисунок 8.** Зависимости амплитуд отклонений угловых скоростей от степени продольной компенсации при неучете АРВ (1) и с учетом АРВ (2)

## V. Обсуждение результатов

Оценивая результаты моделирования можно отметить, что учет АРВ в модели генератора качественно не повлиял на динамику системы. Попытки использовать разные модели систем АРВ (рис. 5), а также изменение настроек таких систем уменьшили амплитуды колебаний (рис. 6). Анализ амплитуд отклонений угловых скоростей и скручивающих моментов при учете и не учете АРВ (рис. 7, 8) с указанием областей, в которых колебания нарастают, показал незначительное снижение амплитуд колебаний и значительное уменьшение области развития колебаний.

## VI. Выводы и заключение

Результаты моделирования, приведенные в статье, показали, что АРВ влияет на переходные процессы в генераторе, снижая амплитуды колебаний механической части системы.

Также, моделирование показало, что учет АРВ в модели генератора сокращает диапазон уровней продольной компенсации, которые приводят к нарастанию амплитуд колебаний. Вместе с тем, полностью исключить нарастание колебаний АРВ не позволяет.

Это дает почву для дальнейших исследований — поиска новых структурных схем и алгоритмов работы АРВ для повышения устойчивости работы генераторов.

### Список литературы

1. IEEE Std 421.5-2016. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, 2016.
2. Peng P., He J., Zhang L., Jiang D. Qualitative and Quantitative Analysis of Sub-synchronous Resonance for a 500 kV Series Compensated Transmission System // 2017 IEEE 7th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, CYBER 2017, 2018. P. 1273-1278. DOI: 10.1109/CYBER.2017.8446107.
3. Rysev D. V., Rysev P. V., Shulga K. S., Serdyuk V. S., Lizalek N. N. Limitation of Weakly Damped Shaft Lines Power Stations Torsional Vibrations at Subsynchronous Frequencies in Distributed Generation Power Systems // 12th International Scientific and Technical Conference “Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines”, Dynamics 2018, 2019. DOI: 10.1109/Dynamics.2018.8601453.
4. Second benchmark model for computer simulation of subsynchronous resonance/ IEEE Subsynchronous Resonance Working Group of the Dynamic System Performance Subcommittee, Power System Engineering Committee // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1985. PAS-104 (5), pp. 1057-1066. DOI: 10.1109/TPAS.1985.323456.
5. Wang L. Damping of torsional oscillations using excitation control of synchronous generator: The IEEE second benchmark model investigation // IEEE Transactions on Energy Conversion. 1991. no. 6 (1), P. 47-54. DOI: 10.1109/60.73788.
6. Wang S., Xu Z., Xing F. Application of bypass damping filter in suppressing subsynchronous resonance of multi-generator series-compensated systems // Electric Power Systems Research. 2019. no. 168, P. 117-126. DOI: 10.1016/j.epsr.2018.11.010.
7. Zhang D., Xie X., Liu S., Yang T. Modal damping of subsynchronous oscillation on compensated transmission systems // Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems. 2008. no. 32 (6), P. 5-8.
8. Трунин Е. С., Тараканов В. М., Бойкин С. П., Смирнов С. И., Генварев Д. С. Крутильные колебания на ГТУ и возможность распада изолированной энергосистемы // Электрические станции. 2017. № 1 (1026). С. 20-24.

УДК 62-52

*Кондрашкина Е.Г., Зиннатуллин А.У.*

БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет»

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

г. Сургут

**Аннотация.** Своевременно не выявленные проблемы электрооборудования (такие, как отсутствующая либо загрязнённая смазка, превышение допустимой нагрузки на механизмы) способствуют появлению и ускоренному развитию дефектов. Это приводит к внезапным поломкам, крупным потерям времени, а зачастую и катастрофам. Правильная и своевременная реакция на проблему существенно увеличивает надёжность и безопасность оборудования, тем самым сокращая риски и капитальные вложения в бизнес.

**Ключевые слова:** *электрооборудование, автоматика, диагностика, предписывающее обслуживание*

*Kondrashkina E.G., Zinnatullin A.U.*

(«Surgut State University»)

## AUTOMATIC DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF INDUSTRIAL ELECTRICAL EQUIPMENT

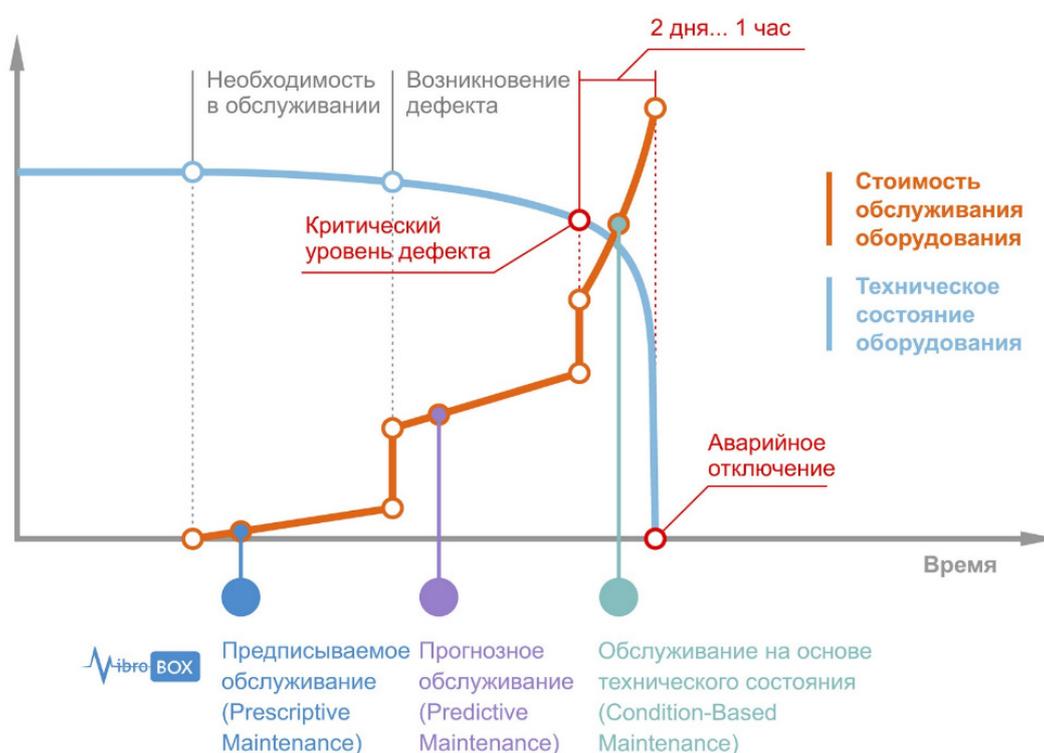
Surgut

**Abstract.** The problems of electrical equipment are not identified in a timely manner (such as missing or contaminated lubricant, excess of the permissible load on mechanisms) contribute to the appearance and accelerated development of defects. This leads to sudden breakdowns, large losses of time, and often disasters. Correct and timely response to a problem significantly increases the reliability and safety of equipment, thereby reducing risks and capital investments in the business.

**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 промышленного электрооборудования. 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 (рис 1).

В работе рассмотрены способы обслуживания промышленного электрооборудования, предложено комплексное решение для предписывающего обслуживания промышленного оборудования, подобрано оборудование для сбора данных телеметрии, 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 новейших методов обработки и анализа вибрационных сигналов и данных телеметрии. В работе изучены методы математического моделирования, затронуты облачные технологии хранения и обработки данных. Рассмотрены такие алгоритмы как вейвлетный анализ, создание собственных базисов, машинное обучение, алгоритмы нечёткой логики и др (рис. 2).

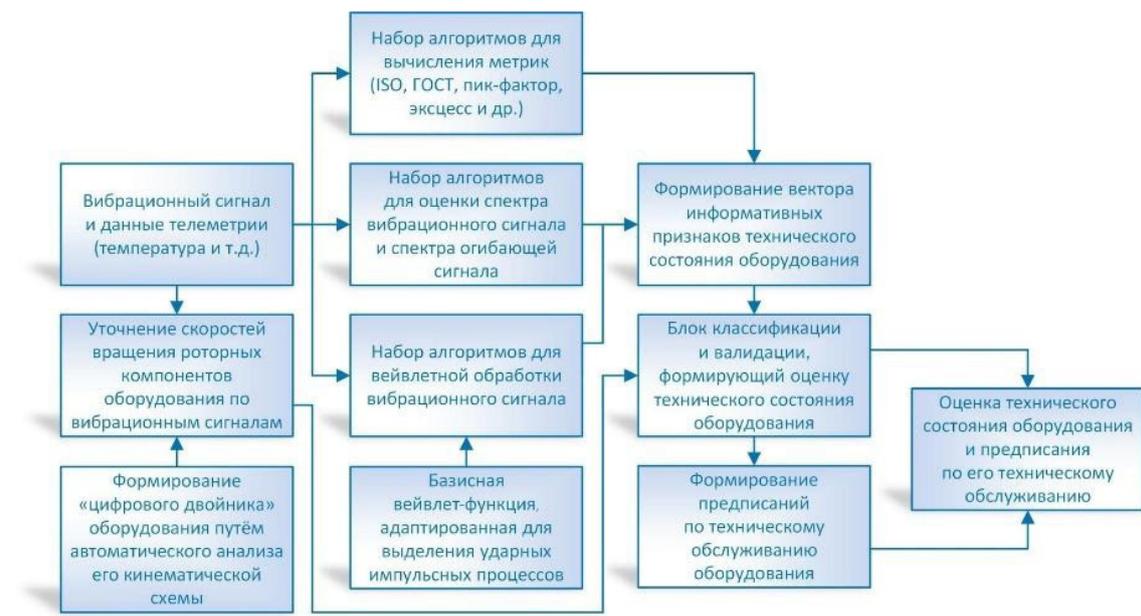


Рисунок 2. Структура системы обработки информации

### 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 621.311

*Каранита Н.В.*

Сургутский государственный университет, г. Сургут

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЁННОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ ПРИ ОДНОФАЗНОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОКА НЕПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

г. Сургут

**Аннотация.** Для сетей среднего напряжения придумано множество методов селективного определения повреждённого присоединения. В статье рассматривается способ определения линии с однофазным замыканием на землю путём наложения тока высокой частоты от источника синусоидального напряжения, подключённого к электрической сети.

**Ключевые слова:** *однофазное замыкание на землю, повреждённое присоединение, наложение токов не промышленной частоты.*

*Karapita N.V.*

Surgut State University, Surgut

## DETERMINATION OF FAILED CONNECTION IN SINGLE- PHASE EARTH FAILURE USING NON-INDUSTRIAL FREQUENCY CURRENT

Surgut

**Abstract.** For medium voltage networks, many methods have been invented for the selective detection of a damaged connection. The article discusses a method for determining a line with a single-phase earth fault by superimposing a high frequency current from a sinusoidal voltage source connected to the electrical network.

**Keywords:** *single-phase earth fault, damaged connection, superposition of non-industrial frequency currents*

В электроэнергетической системе страны распределительные электрические сети напряжением 6–35 кВ составляют 75% от общего количества. Они связывают региональные электрические сети и потребителей электроэнергии. Больше, чем полумиллиона понижающих подстанций, которые установлены в этих сетях, питают нагрузку напряжением 0,4 кВ. Развитие технологий создают условия, которые требуют увеличения показателей качества электроэнергии. У бытовых потребителей появляются новые электроприборы, облегчающие условия жизни людей, а нефтедобывающие предприятия требуют бесперебойной и качественной поставке электроэнергии. Это приводит к повышению ответственности компаниям, обеспечивающих потребителей энергией [1,2].

Потребность в качестве и надежности поставок энергии постоянно растет, так как общество становится все более и более зависимым от непрерывного электроснабжения.

Эксплуатация сетей напряжением 6–35 кВ сопряжена с издержками, обусловленными аварийными перебоями питания и необходимостью проведения ремонтов. Основным видом повреждения этих сетей является однофазное замыкание на землю (ОЗЗ), которые составляют от 70 до 90% от общего числа электрических повреждений. Замыкание одной фазы на землю таких сетях не является коротким замыканием и не требует немедленного отключения. Замыкание фазы на землю ведет к негативным последствиям: перенапряжение в сети, пробой неповрежденных фаз и переход в двойное замыкание на землю. Появляются феррорезонансные процессы, вредных для трансформаторов напряжения. Возможны попадания людей и животных под шаговое напряжение или разрушения опор. Поиск решения проблемы с ОЗЗ и разработкам новых, более успешных алгоритмов защит от ОЗЗ уделяется большое внимание [3].

По большей части подстанций сетей 6–35 кВ имеют только общесекционную защиту от ОЗЗ с действием на сигнал. При возникновении ОЗЗ в сети поочередно отключают отходящие присоединения, пока индикатор, сигнализирующий о поврежденном присоединении, не погаснет.

В России сети работают с изолированной нейтралью либо заземлены через дугогасящий реактор. При однофазном замыкании не появляются большие токи замыкания, поскольку этот ток протекает через большие емкостные сопротивления фаз сети.

В сетях 6–35 кВ многие объекты не имеют возможности подключения другого источника питания, и для устранения повреждения используют защиты сетей действующие на отключение линии, обесточивая потребителя.

Намного полезнее использовать защиты, которые подают сигнал. После определения поврежденного присоединения дежурный персонал по возможности вводит резерв вместо поврежденной линии, разгружая поврежденную

линию, затем отключает ее. Это занимает много времени для устранения повреждения.

Можно сформулировать общие требования к защите от ОЗЗ:

- устройства защиты должны действовать на отключение или на сигнал;
- устройства защиты должны селективно определять поврежденный элемент;
- устройства защиты должны обеспечивать фиксацию как устойчивых, так и дуговых прерывистых повреждений, включая перемежающиеся замыкания;
- устройства должны обеспечивать фиксацию кратковременных самоустраняющихся пробоев изоляции;
- работа устройств защиты не должна зависеть от эксплуатационных режимов работы сети;
- устройствами защиты должны быть оснащены все присоединения защищаемого объекта для исключения отыскания поврежденного присоединения методом поочередных отключений.

При разработке устройств защиты и сигнализации замыканий на землю используют следующие принципы:

- использование токов и напряжения нулевой последовательности (НП) промышленной частоты;
- использование высших гармоник установившегося тока и напряжения НП;
- использование «наложенных токов»;
- использование электрических величин переходного процесса.

Базируясь на принципе их работы, можно сделать вывод, что применение каждого метода ограничено определенными характеристиками типа короткого замыкания. Методы, основанные на фундаментальных составляющих частоты, как правило, используются для выполнения требований к чувствительности защиты, установленных законодательством.

Они правильно работают в случае, если при замыканиях имеется четкий сигнал основной частоты. Но они могут не работать, если замыкания имеют переходную характеристику или присутствуют сильные искажения гармонического спектра. Применение методов, использующих гармонические составляющие, ограничено из-за того, что содержание гармоник при замыканиях изменяется в зависимости от источников гармоник и может даже зависеть от времени. Методы, использующие переходные компоненты, как правило, включают измерение разрядов при переходных процессах в неповреждённых фазах при замыканиях на землю.

Эти способы могут определять установившиеся низкоомные, также перемежающиеся неустойчивые, замыкания на землю при условии точного определе-

ния разрядов. Поскольку переходные процессы сильно зависят от сопротивления замыкания, то чувствительность методов на основе переходных составляющих становится весьма ограниченной. Кроме того, физическое расстояние до места повреждения может ввести значительный демпфирующий эффект на переходные процессы [5].

Для примера селективного определения повреждённого присоединения методом наложения тока не промышленной частоты рассмотрим схему сети, состоящую из распределительного устройства 1, секции шин 2 и с тремя отходящими линиями 3. На одной из линий произошло однофазное замыкание на землю 4 (рисунок 1).

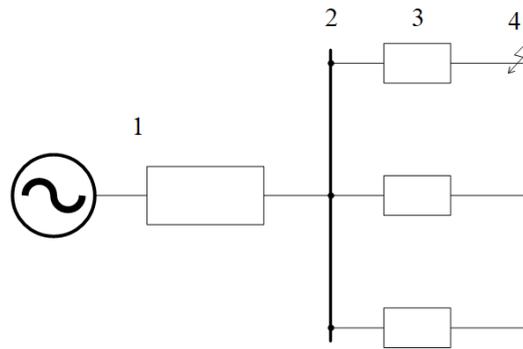


Рисунок 1. Схема распределительного устройства

Для определения повреждённого присоединения к сети подключается дополнительный источник не промышленной частоты (ИВЧ), частоту которого можно регулировать. В результате мы сможем выделить повреждённое присоединение, которое будет иметь самый большой ток в сравнении с другими неповреждёнными линиями.

На рисунке 2 представлена схема замещения сети, в которой произошло однофазное замыкание на землю. Схема состоит из следующих элементов:  $E_A, E_B, E_C$  — ЭДС трансформатора;  $Z_T$  — сопротивление трансформатора;  $X_{c1}, X_{c2}, X_{c3}$  — ёмкостное сопротивление первой, второй и третьей линии;  $Z_{H1}, Z_{H2}, Z_{H3}$  — сопротивление нагрузки. Узлы пронумерованы цифрами от 1 до 8.

Методом узловых потенциалов составляется система уравнений для расчёта нормального режима работы сети и работы сети при ОЗЗ.

$$\begin{aligned} \varphi_1 \cdot 3Y_T - \varphi_2 \cdot Y_T - \varphi_3 \cdot Y_T - \varphi_4 \cdot Y_T &= -(E_A + E_B + E_C) \cdot Y_T \\ \varphi_2(Y_T + Y_{c1} + Y_{c2} + Y_{c3} - Y_{H1} - Y_{H2} - Y_{H3}) - \varphi_1 \cdot Y_T + \varphi_6 \cdot Y_{H1} + \varphi_7 \cdot Y_{H2} + \varphi_8 \cdot Y_{H3} &= E_A \cdot Y_T \\ \varphi_3(Y_T + Y_{c1} + Y_{c2} + Y_{c3} - Y_{H1} - Y_{H2} - Y_{H3}) - \varphi_1 \cdot Y_T + \varphi_6 \cdot Y_{H1} + \varphi_7 \cdot Y_{H2} + \varphi_8 \cdot Y_{H3} &= E_B \cdot Y_T \\ \varphi_4(Y_T + Y_{c1} + Y_{c2} + Y_{c3} - Y_{H1} - Y_{H2} - Y_{H3}) - \varphi_1 \cdot Y_T + \varphi_6 \cdot Y_{H1} + \varphi_7 \cdot Y_{H2} + \varphi_8 \cdot Y_{H3} &= E_C \cdot Y_T \\ 3\varphi_6 \cdot Y_{H1} - \varphi_2 \cdot Y_{H1} - \varphi_3 \cdot Y_{H1} - \varphi_4 \cdot Y_{H1} &= 0 \\ 3\varphi_7 \cdot Y_{H2} - \varphi_2 \cdot Y_{H2} - \varphi_3 \cdot Y_{H2} - \varphi_4 \cdot Y_{H2} &= 0 \\ 3\varphi_8 \cdot Y_{H3} - \varphi_2 \cdot Y_{H3} - \varphi_3 \cdot Y_{H3} - \varphi_4 \cdot Y_{H3} &= 0 \end{aligned}$$

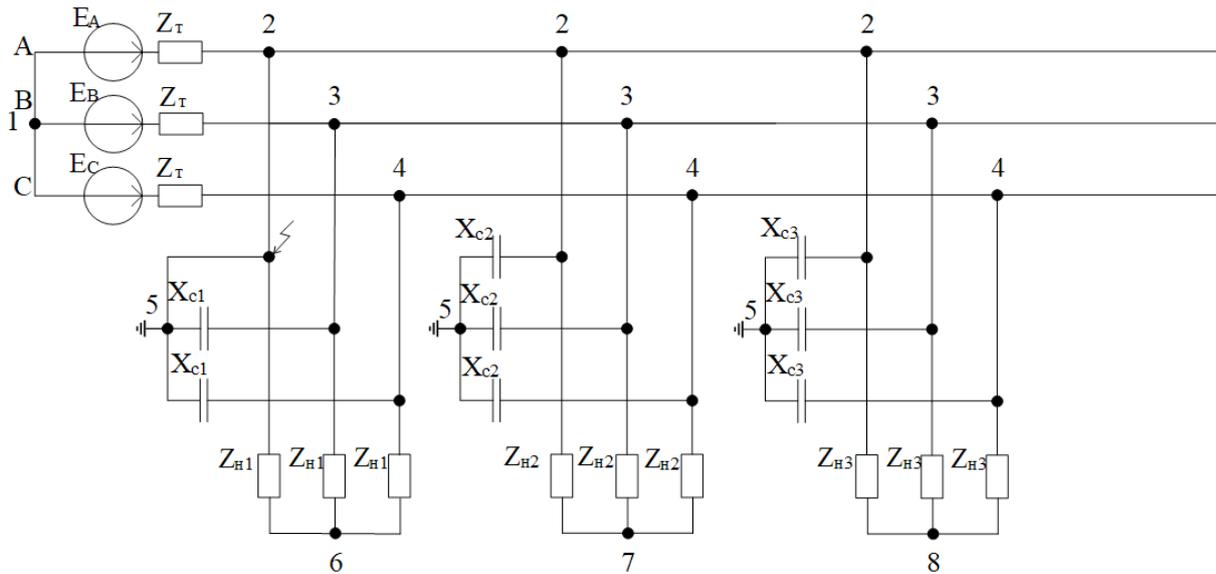


Рисунок 2. Схема замещения сети при ОЗЗ

В результате расчётов определяются токи фазы А для всех линий, чтобы провести сравнение их значений.

Токи в нормальном режиме:

$$\begin{aligned} I_{л1A} &= \varphi_2 \cdot Y_{c1} = 0,312 + 11,187i \\ I_{л2A} &= \varphi_2 \cdot Y_{c2} = 0,312 + 11,187i \\ I_{л3A} &= \varphi_2 \cdot Y_{c3} = 0,312 + 11,187i \end{aligned}$$

И токи при ОЗЗ в фазе А первой линии:

$$\begin{aligned} I_{л10зз} &= I_{л1B0зз} + I_{л1C0зз} = 0,371 - 13,401i \\ I_{л2A0зз} &= \varphi_{20зз} \cdot Y_{c2} = 0,278 + 10,051i \\ I_{л3A0зз} &= \varphi_{20зз} \cdot Y_{c3} = 0,278 + 10,051i \end{aligned}$$

Действующие значения токов:

$$\begin{aligned} I_{л1A} &= 11,191 \text{ A} \\ I_{л2A} &= 11,191 \text{ A} \\ I_{л3A} &= 11,191 \text{ A} \\ I_{л10зз} &= 13,406 \text{ A} \\ I_{л2A0зз} &= 10,055 \text{ A} \\ I_{л3A0зз} &= 10,055 \text{ A} \end{aligned}$$

Из полученных значений видно, что в нормальном режиме и при ОЗЗ ток в одной и той же фазе практически не изменился и токовая защита не сможет определить, что на данном присоединении произошло ОЗЗ.

Для того чтобы создать высокочастотные токи в линиях, на которые реагировали бы датчики, в сеть подключается ИНЧ с установленной частотой 2500 Гц (рисунок 3).

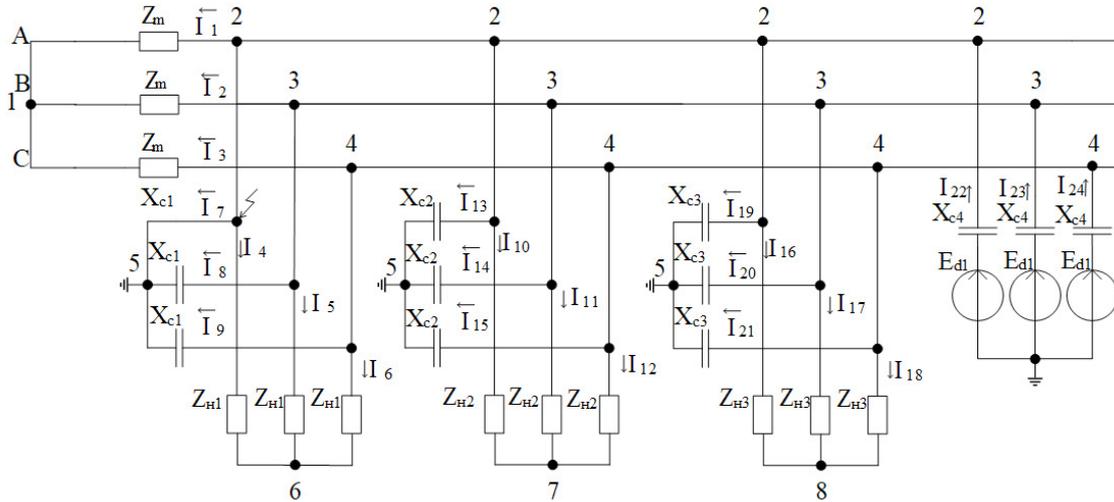


Рисунок 2. Схема замещения сети при ОЗЗ с ИНЧ

После решения уравнений методом узловых потенциалов определяется токи в повреждённом и неповреждённом присоединении.

$$\begin{aligned}
 I_{Л1АВч} &= I_{Л1ВВч} + I_{Л1СВч} = 0,8109 \cdot 10^{-3} + 10,748i \\
 I_{Л2АВч} &= \varphi_{2Вч} \cdot Y_{C2} = 2,1941 \cdot 10^{-3} + 5,389i \\
 I_{Л3АВч} &= \varphi_{2Вч} \cdot Y_{C3} = 2,1941 \cdot 10^{-3} + 5,389i
 \end{aligned}$$

Действующие значения токов:

$$\begin{aligned}
 I_{Л1АВч} &= 10,748 \text{ А} \\
 I_{Л2АВч} &= 5,389 \text{ А} \\
 I_{Л3АВч} &= 5,389 \text{ А}
 \end{aligned}$$

В результате можно наглядно увидеть, что значение тока при подключении ИНЧ на повреждённом фазе линии намного выше, чем в неповреждённых фазах других линий. За определение повреждённого присоединения будут отвечать токовые датчики, которые могут без проблем определить высокочастотную составляющую наложенного тока. Такая составляющая присутствует только на повреждённом присоединении и является главным сигналом о том, что на этой линии возникло ОЗЗ.

Преимущества использования метода определения повреждённого присоединения при помощи непромышленной частоты:

- не влияет на режим работы сети;
- не влияет на другие релейными защитами, которые работают на промышленной частоте;
- метод позволит селективно определяет повреждённое присоединение.

### Список литературы

1. Борковский С. О., Горева Т. С., Горева Т. И. Проблема диагностики однофазных замыканий на землю в сетях с малыми токами замыкания на землю // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 9 (часть 5). — с. 954–959;
2. Вайнштейн Р. А. Режимы заземления нейтрали в электрических системах: учебное пособие / Коломиец Н. В., Шестакова В. В. — Томск: Изд-во ТПУ, 2006 — 118 с.
3. Вайнштейн Р. А., Головкин С. И., Григорьев В. С., Коберник Е. Д., Максимов В. Н., Юдин С. М. Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях 6–10 кВ // Электрические станции. 1998, № 7.
4. Иванов Е. Замыкания на землю и заземление.// Новости электротехники. — 2001. № 5 (11).
5. Шуин В. А., Гусенков А. В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ. — М.: НТФ «Энергопрогресс» 104 с., ил. Библиотечка электротехника; Вып. 11(35)

УДК 621.3

*Шаймарданов А.Ф.*

БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры  
«Сургутский государственный университет», г. 2021

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ИЗОЛИРОВАННОЙ СЕТИ С СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

г. Сургут

**Аннотация.** В работе раскрываются особенности функционирования и взаимодействия элементов сети с синхронными генераторами разной мощности. Изучение взаимного влияния генераторов друг на друга необходимо при проектировании, в том числе, объектов распределенной энергетики в сетях с уже существующей генерацией. Исследование производится в модели электрической сети удаленного поселения с существующей дизельной электростанцией. В качестве второго генератора используется синхронный генератор малой мощности на постоянных магнитах.

**Ключевые слова:** *изолированные электрические системы, синхронный генератор.*

*Shaimardanov A.F.*

Surgut State University, 2021

## SIMULATION OF OPERATION OF AN ISOLATED NETWORK WITH SYNCHRONOUS GENERATOR

Surgut

**Abstract.** The work reveals the features of the functioning and interaction of network elements with synchronous generators of different power. The study of the mutual influence of generators on each other is necessary in the design, including of distributed energy facilities in networks with existing generation. The research is carried out in the model of the electrical network of a remote settlement with an existing diesel power plant. The second generator is a low power permanent magnet synchronous generator.

**Keywords:** *isolated power systems, synchronous generator.*

Взаимодействие синхронных генераторов, являющихся основным источником энергии в изолированных электрических сетях, может влиять на показатели качества электроэнергии. Зачастую вид их взаимодействия сложен и зависит от типа генераторов, их мощности, способа возбуждения и применяемой в каждом конкретном случае системы автоматики. В работе рассмотрены два типа установок — синхронные генераторы мощностью несколько сотен киловатт (дизельные генераторы с двигателями внутреннего сгорания) и синхронные генераторы малой мощности несколько единиц киловатт (генераторы малых ветровых электроустановок).

В больших объединениях электрических сетей (ОЭС и ЕЭС) синхронные генераторы должны поддерживать качество электроэнергии при воздействии малых и больших возмущающих явлений — соответственно при нормальных и аварийных режимах. К малым возмущающим воздействиям в нормальном режиме работы относят, в основном, включение и отключение небольшой нагрузки. Необходимо заметить, что в течение суток изменения нагрузки могут быть значительны, что выражается в неравномерности суточного графика нагрузок; поэтому генерирующее оборудование должно обеспечивать широкий диапазон регулирования (особенно в сетях с большой долей бытовой нагрузки). К большим возмущающим воздействиям относят короткие замыкания, грозовые перенапряжения, отключения или включения генераторов и линий электропередачи. Защиту оборудования обеспечивает система автоматики электрической сети, в том числе автоматика генераторов, предотвращающая их повреждение и отключение.

Генераторы в изолированных сетях должны обеспечивать качество электрической энергии в аналогичных условиях. Ограничение генерируемой мощности может приводить к более значительным отклонениям напряжения и частоты от номинальных значений. Кроме того, из-за соизмеримости мощностей нагрузки и генерации, генерирующее оборудование может реагировать на несимметричность нагрузки и искривление формы напряжения.

Непосредственное включение генератора ВЭУ в сеть ограниченной мощности с высокой вероятностью вызовет ряд негативных последствий. Это связано с тем, что регулирование напряжения, создаваемого ВЭУ, возможно только изменением скорости вращения ротора — в данном случае регулирование будет затруднительным.

Непосредственное подключение в сеть ветрогенератора малой мощности в сеть приведет к следующим последствиям:

- 1) **Разница мощностей** генераторов в сети, превышающая установленные значения, приведет к неравномерной загрузке генераторов активной и реактивной мощностью. В случае, когда мощность генератора зависит только от нестабильной скорости ветра, разность мощностей может меняться.

2) **При недостаточном напряжении на выводах генератора** система регулирования синхронного генератора с обмотками возбуждения снизит ток возбуждения до нуля, как следствие — генератор создаст дисбаланс реактивной мощности в сети, который будет компенсироваться другими генераторами; также генератор может выйти из синхронного режима работы. Всё это приводит к повышению тока в обмотках всех генераторов и увеличению потерь в сети.

Синхронный генератор с постоянными магнитами создаст дисбаланс реактивной мощности, что приведет к повышению тока в обмотках всех генераторов и увеличению потерь в сети.

3) **Разница частот вращения генераторов** (что характерно для простых нерегулируемых ветрогенераторов) приводит к нестабильной генерации активной мощности, либо к её потреблению генератором, чья частота ниже частоты сети.

Во избежание этих последствий ветрогенераторы принято подключать через систему «выпрямитель — накопитель энергии — инвертор». В данном случае регулирование выдаваемой мощности выполняет регулятор инвертора.

Состав ветроустановки — тип и конструкция ветровой турбины, конструкция генератора, мощность выпрямителей и инверторов, ёмкость аккумуляторных батарей — должен быть определен предварительным расчетом. Оценка эффективности установки ветрогенератора в изолированной энергосистеме зависит от многих величин, в том числе — от характеристик электрической сети и ветра.

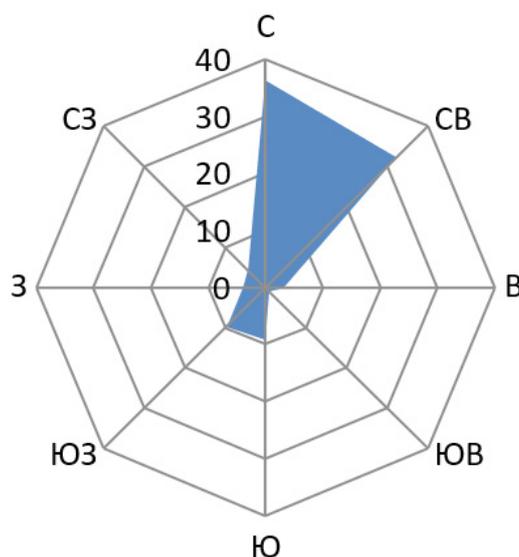
В качестве примера будет оценена установка ветрогенератора на постоянных магнитах в п. Эвенск в Магаданской области.

Данные об электрической сети в данном поселении могут быть получены из «Плана мероприятий по модернизации неэффективной дизельной (мазутной, угольной) генерации в изолированных и труднодоступных районах» и его приложения — Реестра объектов генерации в изолированных и труднодоступных территориях. В реестре представлены следующие показатели: численность населения; тип, установленная мощность, год ввода в эксплуатацию генераторов; транспортная доступность; объем производства электрической энергии; электрическая нагрузка потребителей; полезный отпуск электроэнергии; полезный отпуск электроэнергии бытовым потребителям; фактический расход топлива на производство электроэнергии; удельный расход условного топлива на 1 кВт\*ч; **удельные фактические расходы на производство 1 кВт\*ч — 32,46 руб./кВт\*ч**, и прочие расходы; **размер субсидий на компенсацию выпадающих доходов — 96,3 млн. руб. за год.**

Оценка характеристик ветра производится по данным с ближайшей метеостанции, в данном случае — метеостанции «Эвенск». Значения среднемесячной и среднегодовой скорости ветра указаны в Таблице 1.

**Таблица 1.** Средняя и максимальная скорость ветра в 2020 году

Период	Средняя скорость, м/с	Максимальная скорость, м/с
Январь	5,66	26
Февраль	4,90	20
Март	5,37	28
Апрель	3,17	14
Май	4,44	24
Июнь	2,63	12
Июль	2,63	15
Август	2,46	13
Сентябрь	2,89	15
Октябрь	3,47	17
Ноябрь	3,45	18
Декабрь	6,24	26
<b>Год</b>	<b>3,94</b>	<b>28</b>


**Рисунок 1.** Распределение направления ветра в 2020 году

Кинетическая энергия ветра, проходящего через вертикальные лопасти, создает момент на валу ротора [3]. Аэродинамическая мощность турбины ветрогенератора определяется следующим выражением (1):

$$P_a = C_p \frac{\rho * S * v^3}{2} \quad (1)$$

где  $C_p$  — коэффициент мощности турбины

$\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>

$S$  — площадь ометаемой поверхности ветротурбины м<sup>2</sup>

$v$  — скорость ветра, м/с

Величина  $C_p$  отражает, какую долю кинетической энергии может извлечь ветровая турбина. Её максимальное теоретическое значение составляет 0,593 для горизонтально-осевых турбин и 0,554 — для вертикально-осевых.

Вращательное движение турбины описывается следующим уравнением:

$$J \frac{dw}{dt} = M_a - M_{эм} - M_{тр} \quad (2.1)$$

где  $J$  — момент инерции ветровой турбины, кг\*м<sup>2</sup>

$w$  — угловая скорость вращения турбины, рад/сек

$M_a$  — момент аэродинамических сил, действующих на лопасти турбины, Н\*м

$M_{эм}$  — электромагнитный момент генератора, Н\*м

$M_{тр}$  — момент сил трения, Н\*м

При использовании синхронного генератора с постоянными магнитами можно составить выражение, связывающее основные параметры режима работы (ЭДС, ток в обмотках статора, скорость вращения) и скорость ветра. Сначала сделаем предварительный расчет скорости вращения ротора  $n$  в зависимости от скорости ветра  $v$ .

При постоянной скорости вращения  $\frac{dw}{dt} = 0$ , и с учетом того, что  $M = \frac{P}{w}$ , можно получить выражение:

$$0 = P_a - P_{эм}(n) - P_{тр}(n) \quad (2.2)$$

Все три величины зависят от скорости вращения ротора, однако, для упрощения расчета, будем считать, что зависит исключительно от скорости ветра.

Если представить электромагнитную мощность [1]  $P_{эм}$  как:

$$P_{эм}(n) = 3 * E(n)I(n)\cos\varphi (n) = 3 * \frac{E^2(n)}{Z(n)} * \cos\varphi (n) \quad (3)$$

где  $E$  — ЭДС фазы генератора, В

$Z$  — полная мощность системы, подключенной к генератору, Ом

$\cos\varphi$  — коэффициент мощности

Мощность силы трения можно принять линейной относительно частоты вращения ротора  $n$ :

$$\begin{aligned} I_{л1033} &= I_{л1B033} + I_{л1C033} = 0,371 - 13,401i \\ I_{л2A033} &= \varphi_{2033} \cdot Y_{c2} = 0,278 + 10,051i \\ I_{л3A033} &= \varphi_{2033} \cdot Y_{c3} = 0,278 + 10,051i \end{aligned} \quad (4)$$

Подставив выражения (1), (3), (4) в (2.1) получим:

$$0 = C_p \frac{\rho * S * v^3}{2} - 3 * \frac{E(n)^2}{Z(n)} * \cos\varphi(n) - K_{тр} * n \quad (5)$$

Для упрощения записи введем величину :

$$C_p \frac{\rho * S * v^3}{2} = K_v * v^3 \quad (1')$$

Если выразить ЭДС фазы генератора через индукцию магнитного поля в зазоре:

$$E = 2 * \sqrt{2} * f_m * \omega * k_y * k_c * B_m * l_\delta * \tau \quad (6.1)$$

где  $f_m$  — частота вращения магнитного поля, об/сек

$$f_m = n$$

$\omega$  — число витков в обмотке статора;

$k_y$  — коэффициент укорочения шага обмотки;

$k_c$  — коэффициент скоса пазов обмотки;

$B_m$  — амплитуда индукции поля в зазоре;

$l_\delta$  — активная длина машины, м;

$\tau$  — длина полюсного деления, м;

$$\tau = \frac{\pi * D}{p}$$

$p$  — число пар полюсов ротора;

$D$  — диаметр пояса магнитов, м;

Для упрощения записи введем величину  $K_E$ :

$$E = 2 * \sqrt{2} * \omega * k_y * k_c * B_m * l_\delta * \tau * n = K_E * n \quad (6.2)$$

Величину сопротивления системы можно выразить как:

$$Z(n) = \sqrt{R_c^2 + X_c^2(n)} \quad (7)$$

Если принять  $X_c(n) \approx x_{ген}(n)$ , где  $x_{ген}$  — собственное индуктивное сопротивление обмотки статора, равное:

$$x_{ген}(n) = \frac{4 * m * f}{\pi} * \frac{\mu_0 * \tau * l_\delta}{k_\mu * k_\delta * \delta} * \frac{\omega^2 * k_{об}}{p} \quad (8.1)$$

где  $m$  — число фаз статора

$f$  — частота вращения магнитного поля статора, которую можно принять равной

$$f = n$$

$\mu_0$  — магнитная постоянная, Гн/м

$k_\mu$  — коэффициент магнитной проницаемости

$k_\delta$  — коэффициент воздушного зазора

$\delta$  — воздушный зазор, м

$k_{об}$  — обмоточный коэффициент

Для упрощения записи введем величину  $K_x$ :

$$X_{ген}(n) = \frac{4 * m}{\pi} * \frac{\mu_0 * \tau * l_\delta}{k_\mu * k_\delta * \delta} * \frac{\omega^2 * k_{об}}{p} * n = K_x n \quad (8.2)$$

Коэффициент мощности  $\cos\varphi(n)$  можно найти из выражения:

$$\cos\varphi(n) = \frac{R_c}{Z(n)} = \frac{R_c}{\sqrt{R_c^2 + X_c^2(n)}} = \frac{R_c}{\sqrt{R_c^2 + (K_x n)^2}} \quad (9)$$

Подставив в (5) полученные выражения, получим:

$$0 = K_v v^3 - 3 * \frac{(K_E * n)^2}{\sqrt{R_c^2 + (K_x n)^2}} * \frac{R_c}{\sqrt{R_c^2 + (K_x n)^2}} - K_{тр} * n \quad (10.1)$$

Выражая  $v$ , получим:

$$v = \sqrt[3]{\frac{3}{K_v} * \frac{R_c * (K_E * n)^2}{R_c^2 + (K_x n)^2} + \frac{K_{тр}}{K_v} * n} \quad (10.2)$$

Вертикально-осевая ветровая установка, работа которой рассматривается в статье, основана на использовании трехфазного торцевого синхронного генератора на постоянных магнитах [2]. Исходные данные представлены в таблице 2.

**Таблица 2.** Исходные параметры

№	Параметр	Значение
1	Диаметр, мм	700
2	Диаметр обмоточного провода, мм	1,2
3	Число пазов статора	36
4	Размер паза статора, мм	30x16x150
5	Число полюсов	28
6	Размер магнита, мм	16x20x120

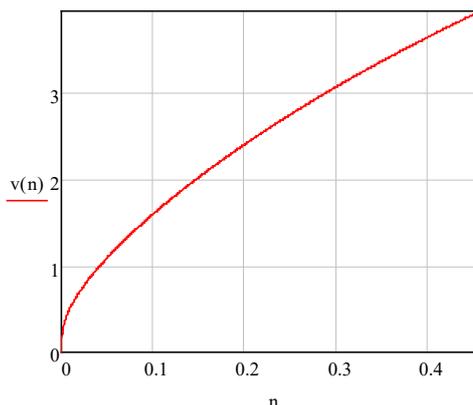
7	Индукция магнитного поля магнита, Тл	1,2
8	Количество витков в одной катушке	250
9	Число параллельных ветвей обмотки статора	1
10	Число слоёв обмотки статора	1
11	Материал ротора	Стеклопластик
12	Материал статора	Стеклопластик
13	Момент инерции ротора, кг*м <sup>2</sup>	2,04
14	Величина зазора, мм	2
15	Коэффициент скоса пазов	1
16	Ометаемая площадь, м <sup>2</sup>	
17	Коэф. мощности турбины	0,3
18	Плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup>	1,2
19	Амплитуда индукции поля возбуждения в зазоре, Тл	0,5
20	Коэф. насыщения магнитной цепи	1,15
21	Коэф. воздушного зазора	1,1
22	Линейный коэффициент между силой трения и частотой вращения ротора, Вт/Гц	10
23	Активное сопротивление нагрузки, Ом	0,39

Из данных исходных параметров могут быть найдены следующие:

**Таблица 3.** Промежуточные результаты расчетов конструкции генератора

№	Параметр	Значение
1	Активное сопротивление фазы, Ом	17,856
2	Число пазов на полюс и фазу	0,429
3	Полюсного деление, м	0,084
4	Число витков в фазной обмотке	3000
5	Коэф. обмотки	1,242
6	Коэф. укорочения	0,94
7	$K_v$ , Вт*с <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,9
8	$K_E$ , В/Гц	40,258
9	$K_x$ , Ом/Гц	18,984

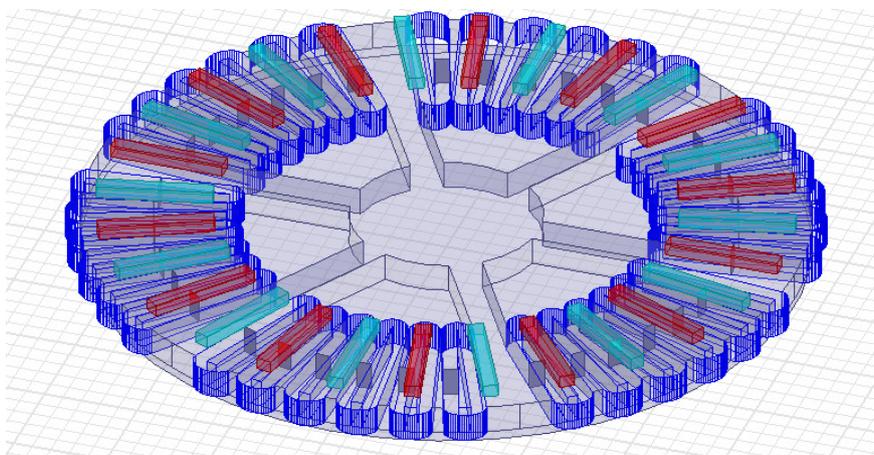
Согласно полученным данным можно построить график зависимости частоты вращения ротора от скорости ветра.



**Рисунок 2.** График зависимости  $v(n)$

Согласно графику, среднегодовая скорость ветра 3,9 м/с позволяет достичь частоты вращения ротора 0,455 Гц (27,3 об/мин).

Данные, полученные из подобного приблизительного расчета можно использовать при моделировании в программном комплексе Ansys Maxwell. Для этого предварительно была построена геометрия торцевого генератора в системе автоматизированного проектирования Autocad и экспортирована в проект Maxwell 3D.



**Рисунок 3.** Модель синхронного генератора

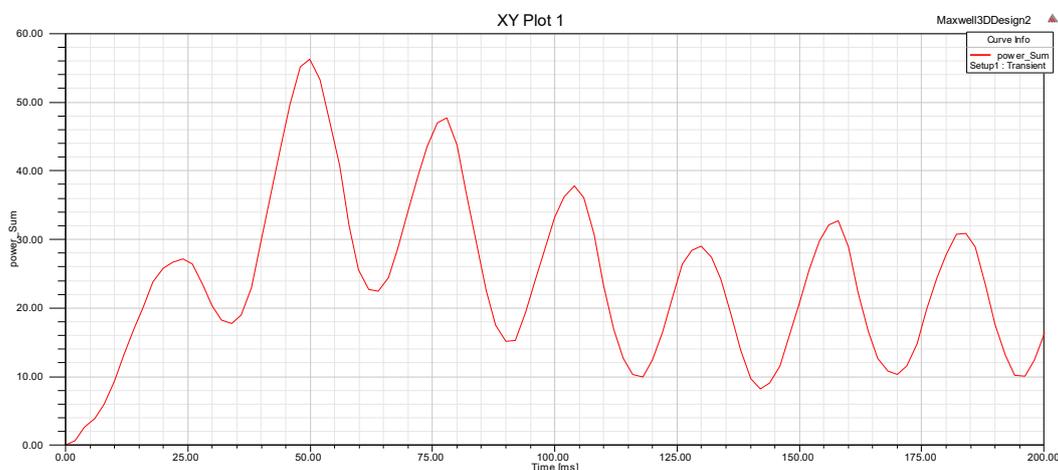
В результате расчета можно вывести кривые ЭДС, токов и момента синхронного генератора, рассчитать электрическую мощность в обмотках статора. Средняя активная мощность генератора равна — 0,02 кВт.

Средняя годовая выработка электроэнергии — 175,2 кВт\*ч.

Стоимость «вытесненного» дизельного топлива за год — 5,6 тыс.руб.

Приблизительная стоимость материалов данной установки составляет 170 тыс. руб. Из этого можно сделать вывод, что применение ветровой установки с выбранными исходными данными экономически неоправданно. Способами увели-

чения прибыли от эксплуатации установки могут быть: применение её в регионе с более высокой скоростью ветра; применение турбины с более высокими коэффициентами мощности и площадью лопастей (например, горизонтально-осевой).



**Рисунок 4.** Кривая активной мощности генератора в выбранных условиях

### Список литературы

1. Вольдек А. И., Попов В.В.: Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов / Вольдек А. И., Попов В.В. — СПб.: Питер, 2010. — 350 с.
2. Клоков Б.К.: Обмотчик электрических машин.: учебник / Клоков Б.К. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — М. : Высш.шк., 1987. — 256 с.
3. Кривцов В.С., Олейников А. М., Яковлев А. И.: Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А. М., Яковлев А. И. — Харьков: нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2004. — 519 с.

УДК 621.311

*Шаймарданов И.Ф.*

БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры  
«Сургутский государственный университет», г. 2021

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ КЛАССОМ НАПРЯЖЕНИЯ МЕНЕЕ 110 кВ

г. Сургут

**Аннотация.** В работе рассмотрены особенности внедрения систем мониторинга трансформаторов напряжением менее 110 кВ. На основе недавно опубликованных патентов и статей предложена конфигурация системы мониторинга с применением внешних датчиков частичных разрядов.

**Ключевые слова:** *системы мониторинга, силовые трансформаторы.*

*Shaimardanov I.F.*

Surgut State University, 2021

## FEATURES OF DESIGNING MONITORING SYSTEMS FOR POWER TRANSFORMERS WITH VOLTAGE CLASS LESS THAN 110 kV

Surgut

**Abstract.** The work reveals the features of the implementation of monitoring systems for transformers with a voltage of less than 110 kV. Based on recently published patents and articles, a monitoring system configuration using external partial discharge sensors has been proposed.

**Keywords:** *monitoring systems, power transformers*

На данный момент значительное число силовых трансформаторов, используемых в российских электрических сетях, эксплуатируется дольше своего нормативного срока [4]. В связи с этим появляется необходимость наиболее рационального использования оставшегося ресурса оборудования.

Для повышения надёжности эксплуатации могут применяться системы мониторинга. Системы мониторинга (СМ) — это системы, непрерывно измеряющие

ряд рабочих характеристик оборудования для обнаружения дефектов на ранней стадии их развития. Некоторые СМ также способны производить диагностику контролируемого оборудования и передавать полученные данные в информационные системы более высокого уровня. Это позволяет контролировать состояние всего комплекса оборудования предприятия с одного автоматизированного рабочего места (АРМ).

Благодаря достаточно высокой стоимости, СМ в основном используются на оборудовании высоких классов напряжения и мощности. Тем не менее, за счёт упрощения конструкции и принятия некоторых конструктивных решений, можно создать системы мониторинга, использование которых экономически оправдано и на менее мощных трансформаторах.

Требования к системам мониторинга машин в целом сформулированы в ГОСТ Р 53564-2009 [1] и ГОСТ Р ИСО 17359-2015 [2], а также в стандартах различных организаций.

Официальный стандарт организации ФСК ЕЭС [6] предполагает создание систем мониторинга с трёхуровневой структурой:

I уровень — первичные датчики и измерительные системы;

II уровень — блок мониторинга для сбора и обработки сигналов от первичных датчиков уровня I. Обмен информацией с уровнем III;

III уровень — единый централизованный программно-технический комплекс для математической обработки данных со второго уровня, расчётно-аналитических задач, дистанционного конфигурирования и проверки исправности аппаратуры нижних уровней, а также для связи с верхним уровнем управления — автоматизированной системой управления трансформаторной подстанции (АСУ ТП).

Данная схема представлена на рисунке 1.

В других организациях требования могут отличаться без изменения основного принципа, в основном за счёт добавления более высоких уровней обработки и хранения информации (уровень предприятия, уровень контроля транзита энергии и т.д.)

Одним из основных препятствий к использованию систем мониторинга в трансформаторах менее 110 кВ является экономическая целесообразность их применения. Как и системы мониторинга для других классов напряжения, они должны быть значительно дешевле контролируемого оборудования.

Снижение стоимости может происходить за счёт уменьшения количества контролируемых параметров (а следовательно и количества применяемых датчиков), снижения затрат на монтаж и на эксплуатацию системы мониторинга.

Зачастую подобное упрощение системы приводит к снижению точности проводимой диагностики, для компенсации чего могут применяться различ-

ные решения, такие как применение новых типов датчиков, методов диагностики и пр.

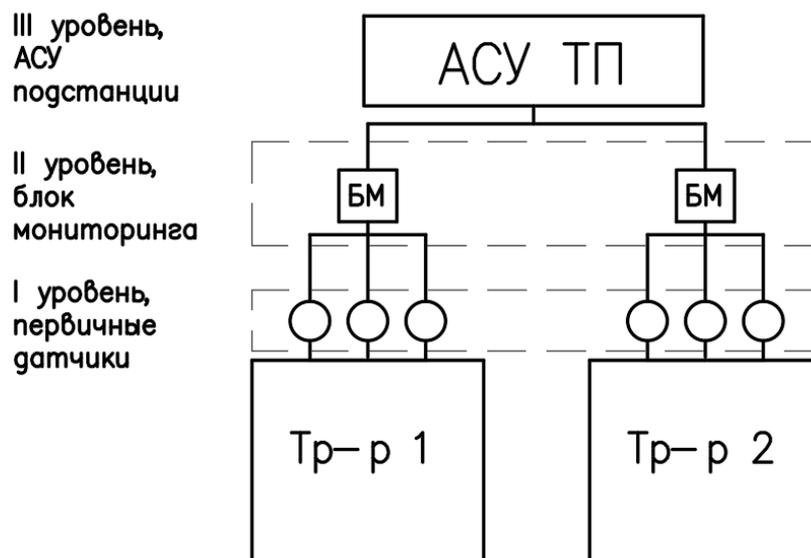


Рисунок 1. Общая схема системы мониторинга

Для увеличения точности мониторинга предлагается использование следующих решений:

1. Использование пьезоэлектрических датчиков.

В патенте [5] описываются перспективы применения датчиков с пьезоэлектрическим элементом. Установленные на баке трансформатора, они способны регистрировать как вибрацию, так и электромагнитные импульсы. Это позволяет определять дефекты трансформатора механической и электрической природы (например, распрессовку магнитопровода и частичные разряды) с использованием одного типа датчиков, тогда как в существующих системах мониторинга для этого обычно применяют отдельно емкостные и акустические датчики.

2. Распознавание импульсов частичных разрядов (ЧР) с помощью разнонаправленных высокочастотных трансформаторов тока (ВЧТТ).

В статье [7] описывается применение разнонаправленных ВЧТТ для регистрации ЧР в муфтах. Трансформаторы тока устанавливаются на кабелях возле концов муфты таким образом, что импульсы, приходящие извне, имеют одинаковую полярность, а происходящие внутри муфты — противоположную. Данный способ позволяет отсеивать внешние сигналы, тем самым снижая влияние помех при регистрации ЧР. Предположительно, метод может применяться и в мониторинге трансформаторов.

3. Использование измерительных трансформаторов тока с высоким значением насыщения сердечника.

В патенте [5] описывается система мониторинга, в которой используются измерительные трансформаторы с сердечниками из магнитомягкого нанокристаллического сплава на основе железа. Высокое значение насыщения материала сердечника позволяет снизить влияние тока сетевой частоты при измерении частичных разрядов, и таким образом повысить помехозащищённость.

На основе описанных выше требований и решений предлагается применение системы мониторинга следующей конструкции.

Основные решения по комплектации предлагаемой системы мониторинга основаны на рекомендациях для систем, производимых компанией Димрус. [3]

Система должна контролировать следующие параметры:

- температуру масла в баке трансформатора;
- влагосодержание в масле бака;
- уровень масла в баке;
- разрядную активность внутри бака;
- вибрацию в баке;

Датчики температуры, влагосодержания и уровня масла в баке должны быть объединены в едином металлическом корпусе, который монтируется на крышке бака через штатную горловину для заливки масла или переходной фланец. Датчики находятся в нижней части, которая вводится внутрь бака трансформатора. Вся электронная часть системы мониторинга находится в верхней части блока. Данная конструкция применяется в системах мониторинга TDM-10 производимых компанией Димрус.

Конструктивное исполнение блока на примере системы TDM-10 представлено на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Конструктивное исполнение блока датчиков температуры, влагосодержания и уровня масла в баке

Для регистрации вибрации и электромагнитной эмиссии в баке должны использоваться пьезоэлектрические датчики, устанавливаемые на стенках бака.

Для регистрации частичных разрядов должны применяться датчики на основе высокочастотных трансформаторов тока, устанавливаемые на кабелях возле входов ВН и НН одной из фаз трансформатора.

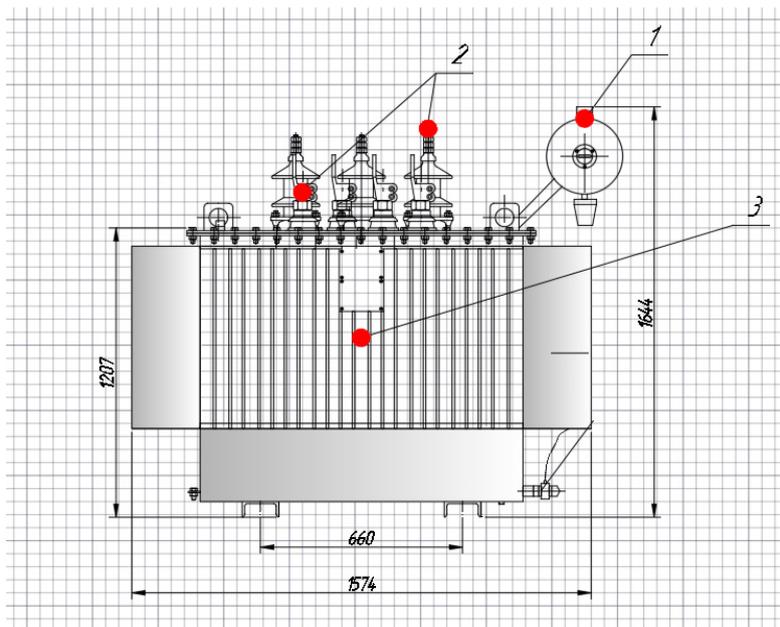
Связь датчиков вибрации и частичных разрядов с основной частью системы мониторинга предлагается осуществлять по беспроводному интерфейсу марки Bluetooth.

В описанной системе мониторинга информация о техническом состоянии трансформатора в АСУ ТП предприятия может передаваться по трём каналам связи:

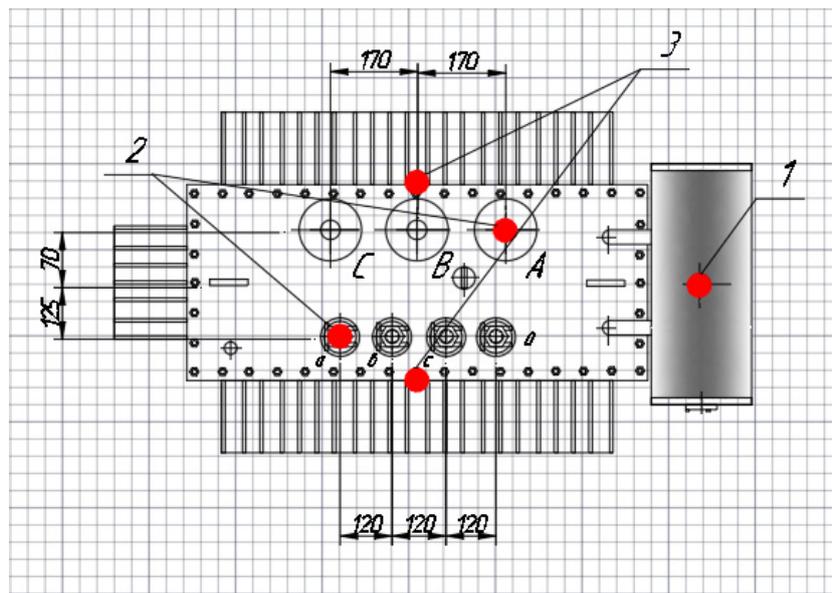
- Проводной гальванически изолированный интерфейс связи RS-485;
- Беспроводной интерфейс связи марки Bluetooth, который позволяет передавать большие объёмы информации на небольшое расстояние (несколько десятков метров);
- Беспроводной интерфейс связи марки LoRa (LoRaWAN), который позволяет передавать небольшие объёмы информации на большое расстояние (несколько километров).

Описанные выше решения позволят увеличить точность производимых измерений по сравнению с имеющимися аналогами.

Предполагаемое расположение датчиков системы на примере трансформатора ТМ-400 напряжением 10/0,4 кВ представлено на рисунках 3 и 4:



**Рисунок 3.** Предлагаемое расположение датчиков на примере трансформатора ТМ 400 (вид сбоку)



**Рисунок 4.** Предлагаемое расположение датчиков на примере трансформатора ТМ 400 (вид сверху)

- 1 — блок датчиков для определения уровня, температуры и влагосодержания масла в баке трансформатора;
- 2 — измерительные трансформаторы тока для регистрации частичных разрядов;
- 3 — датчики акустической и электромагнитной эмиссии;

### Вывод

В статье приведено общее описание систем мониторинга силового оборудования и особенности его внедрения в трансформаторы относительно малой мощности напряжением менее 110 кВ.

Главной особенностью использования систем мониторинга на данных классах напряжения является экономическая целесообразность, достигаемая за счёт упрощения конструкции.

На основании данного принципа, с учётом опыта уже применяемых систем, а также недавних исследований, была предложена конфигурация системы мониторинга.

### Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 17359-2015 Контроль состояния и диагностики машин. Общее руководство. — Введ. 12.01.2016. — М. : Национальный стандарт Российской Федерации: Стандартинформ, 2016

2. ГОСТ Р 53564-2009 Контроль состояния и диагностики машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. — Введ. 01.01.2011. — М. : Национальный стандарт Российской Федерации: Стандартиформ, 2009
3. Компания Димрус : официальный сайт. — URL: <https://dimrus.ru/texts/trans-monitoring.html> (дата обращения: 01.04.2021). — Текст: электронный
4. Майоров А.В., Львов М.Ю., Львов Ю.Н., Комаров В.Б., Ершов Б.Г. Прогнозирование срока службы силовых трансформаторов и автотрансформаторов электрических сетей Энергетик. — 2018, № 11. — С. 17-20. 16.01.2019
5. Патент 2709604. Российская Федерация, МПК С1G01R31/12. Способ измерения характеристик частичных разрядов; № 2018127035; заявл. 23.07.2018; опубл. 18.12.2019 / Костюков А.В., Бойченко С.Н., Бурда Е.А., Жильцов В.В. — 6 с.
6. СТО 56947007-29.200.10.011-2008 Системы мониторинга силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Общие технические требования
7. A Rodrigo Mor, F.A. Muñoz, J. Wu, L.C. Castro Heredia, Automatic partial discharge recognition using the cross wavelet transform in high voltage cable joint measuring systems using two opposite polarity sensors, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 117, 2020, 105695, ISSN 0142-0615

УДК 621.311

*Ананьев Е.И.*

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ С ПОМОЩЬЮ ВОЛНОВОГО МЕТОДА

г. Сургут

**Аннотация.** В статье рассмотрен волновой метод дистанционного определения места повреждения в распределительных сетях с изолированной либо компенсированной нейтралью при однофазном замыкании на землю. Произведён анализ математической модели волнового метода. В заключении обобщены достоинства и недостатки данного метода.

**Ключевые слова:** *дистанционное определение места повреждения, изолированная нейтраль, компенсированная нейтраль, однофазное замыкание на землю.*

*Ananay E.I.*

Surgut State University, Surgut

## DETERMINATION OF THE FAULT LOCATION IN DISTRIBUTION NETWORKS USING THE WAVE METHOD

Surgut

**Abstract.** The article considers the wave method of remote determination of the fault location in distribution networks with an isolated or compensated neutral in the case of a single-phase earth fault. The mathematical model of the wave method is analyzed. In conclusion, the advantages and disadvantages of this method are summarized.

**Keywords:** *remote detection of damage location, insulated neutral, compensated neutral, single-phase earth fault.*

В распределительных сетях наиболее часто выходящим из строя элементом является линия электропередач. Повреждение линии приводит к снижению надёжности, уменьшением качества электроснабжения, недоотпуском электро-

нергии, а также к повышению опасности в месте повреждения. Именно поэтому есть острая необходимость в надёжном и быстром методе дистанционного поиска поврежденного участка линии.

Раньше для нахождения мест повреждения использовали топографический метод, который на сегодняшний день морально устарел т.к. распределительные сети в большинстве своём находятся в труднодоступных местах (леса, болота и удалённая от населённых пунктов местность) необходим способ дистанционного поиска повреждений линий электропередач. На сегодняшний день существует более современные способы диагностики распределительных линий во время повреждения.

Современные электрические распределительные сети в основном работают с изолированной нейтралью, что доставляет неудобства в дистанционном определении места повреждения (ОМП). Из проверенных практикой способов дистанционного ОМП чаще всего используют импедансный и волновой метод.

Импедансный метод включает в себя измерение тока и напряжения в линии. Эти данные обрабатывают и вычисляют место повреждение линии. Но есть недостаток в виде неточности ОМП из-за искажений в показаниях электрических величин.

Более надёжным считается волновой метод т.к. при ОМП используется расчёт времени прохождения импульса. Который также имеет свои недостатки, например, зависимость от переходного сопротивления возникающего в месте повреждения линии. При увеличении переходного сопротивления увеличивается погрешность ОМП. Для волнового метода необходимо подключить к повреждённой линии источник высокочастотного синусоидального сигнала. Рассчитывается время прохождения импульса от начала линии до места повреждения.

Напряжение в любой точке линии можно выразить:

$$U = U_m^+ \cdot e^{j\omega t - \gamma x} + U_m^- \cdot e^{j\omega t + \gamma x} \quad (1)$$

где  $U_m^+$  — комплексная амплитуда прямой волны напряжения;

$U_m^-$  — комплексная амплитуда обратной волны напряжения;

$\gamma$  — постоянная распространения;

$x$  — расстояние от начала линии до рассматриваемой точки

Пусть в точке  $x = 0$  ОЗЗ через переходное сопротивление  $Z_n$ .

Тогда выражение (1) можно представить в виде

$$U(x, t) = U_m^+ \cdot (e^{j\omega t - \gamma x} + n e^{j\omega t + \gamma x}) \quad (2)$$

где  $n$  — коэффициент отражения волны напряжения в месте повреждения. Коэффициент отражения определяется по выражению

$$n = \frac{Z_n - Z_B}{Z_n + Z_B} \quad (3)$$

где  $Z_B$  — волновое сопротивление линии.

Волновое сопротивление определяется по выражению:

$$Z_B = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad (4)$$

где  $L_0$  — удельная индуктивность линии электропередачи

$C_0$  — удельная емкость линии электропередачи

Необходимо определить резонансную частоту для поврежденного участка линии, при которой напряжение и ток будут достигать максимального значения:

$$f_{\text{рез}} = \frac{V_\phi}{4l_n} \quad (5)$$

где  $V_a$  — фазовая скорость (275 000 км/с) [1, с. 6]

$l_n$  — расстояние от начала линии до места повреждения

Тогда фазовый коэффициент определяется следующим выражением:

$$\beta = \omega \sqrt{L_0 C_0} = \frac{\omega}{V_\phi} = \frac{2\pi f_{\text{рез}}}{V_\phi} \quad (6)$$

Длина волны равна

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (7)$$

ОЗЗ в конце линии распределение тока и напряжении в линии описывается следующей системой уравнений

$$\begin{cases} \dot{U} = I_2 Z_B \sin(\beta x') \\ i = I_2 \cos(\beta x') \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} u = I_2 Z_B \sin(\beta x') \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) = U_{2m} \sin(\beta x') \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) \\ i = I_{2m} \cos(\beta x') \cdot \sin(\omega t) \end{cases} \quad (9)$$

где  $I_{2m}$  — амплитудное значение тока

$U_{2m}$  — амплитудное значение напряжения

$x'$  — расстояние от рассматриваемой точки до начала линии

Допустим, что в конце линии, на расстоянии 10 км произошло ОЗЗ. Найдем резонансную частоту поврежденного участка, при которой возникает эффект

стоячих волн и построим графики распределения напряжения и тока в линии при следующих параметрах линии:

$$r_0 = 0.444 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; L_0 = 0.004 \frac{\text{Гн}}{\text{км}}; C_0 = 0.089 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}$$

Получим следующие значения резонансной частоты, фазового коэффициента, волнового сопротивления и длины волны:

$$f_{\text{рез}} = \frac{V_{\phi}}{4l_{\Pi}} = \frac{275000}{4 \cdot 10} = 6.875 \text{ кГц};$$

$$\beta = \frac{2\pi f_{\text{рез}}}{V_{\phi}} = \frac{2\pi \cdot 6875}{275000} = 0.157 \frac{\text{рад}}{\text{км}}; \lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{0.157} = 40 \text{ км};$$

Определим время прохождения волны от начала линии до точки ОЗЗ:

$$t = \frac{l_{\Pi}}{V_{\phi}} = \frac{10}{275000} = 0.000364 \text{ с}$$

Построим графики распределения напряжения (рисунок 1) и распределение тока (рисунок 2) вдоль линии по системе уравнений (9) при резонансной частоте. Параметры высокочастотного синусоидального сигнала:

$$U_{2m} = 250 \text{ В}; I_{2m} = 1.18 \text{ А}; f_{\text{рез}} = 6.875 \text{ кГц}$$

Зависимости представлены на рисунке 1 и 2. Соответственно рисунку 1, величина напряжения равна нулю на концах линии. Максимальное значение напряжения достигает в середине линии. На рисунке 2 можно увидеть максимальное значение тока в начале линии, это происходит только при условии  $\lambda > l_{\text{к}}$ .

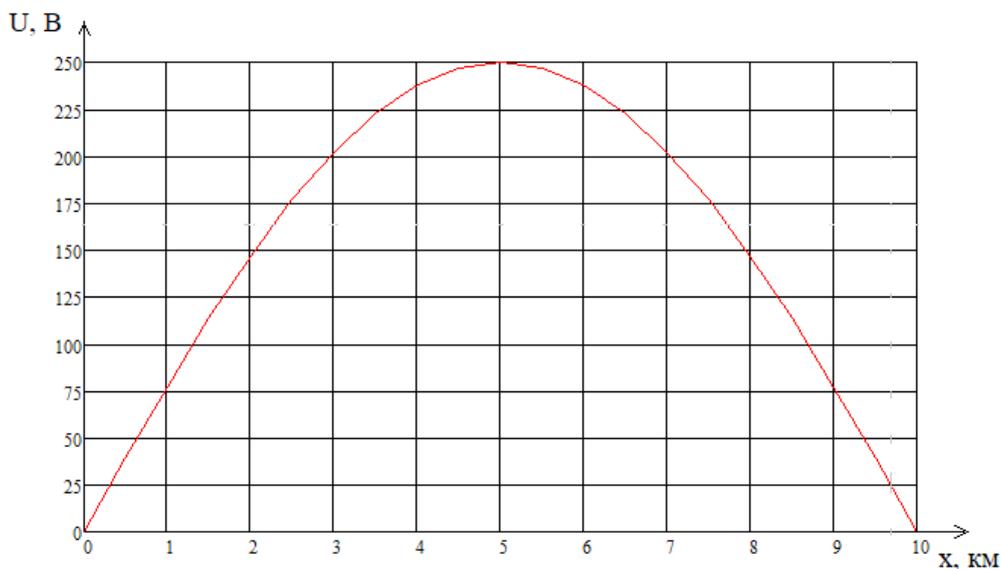
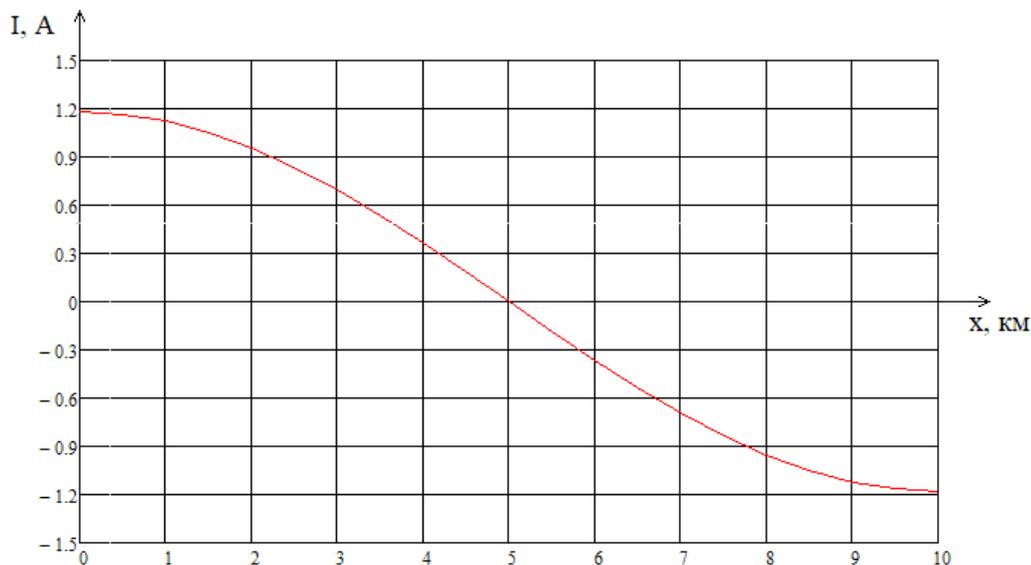
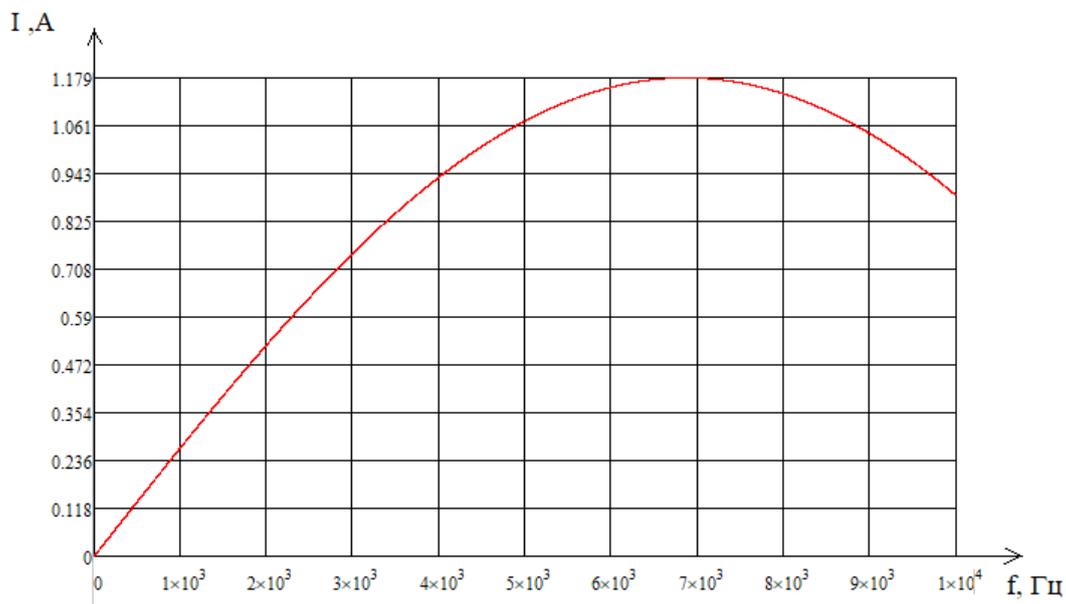


Рисунок 1. График распределения напряжения вдоль линии



**Рисунок 2.** График распределения тока вдоль линии

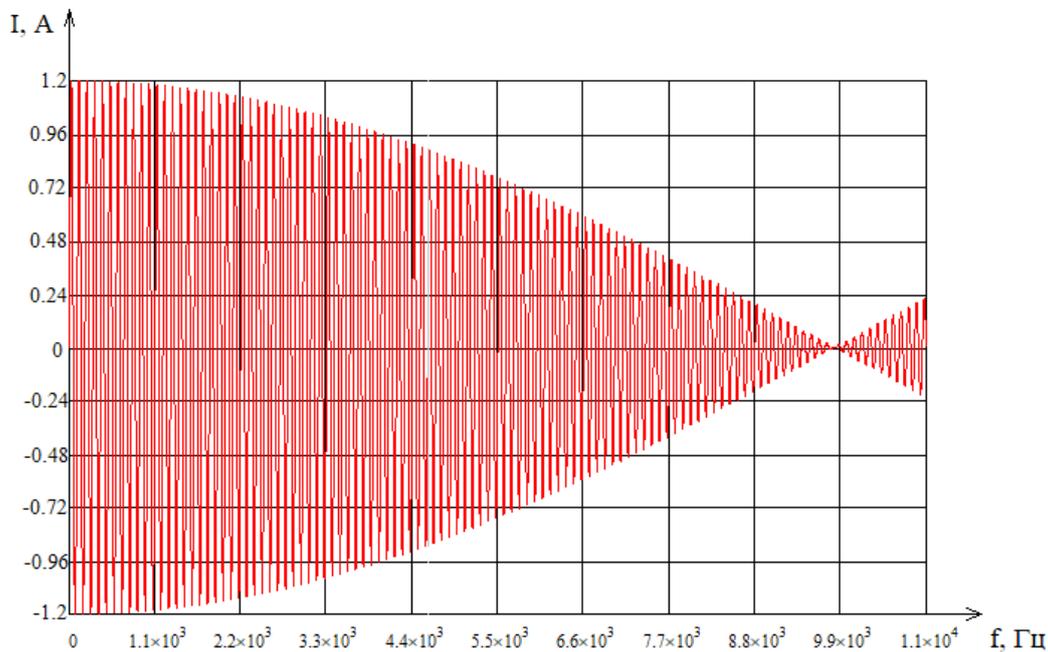
Построим частотную характеристику действующего значения тока в начале линии. Время в уравнении оставим прежним  $t = 0.0000364$  с. Из рисунка 3 видно, что действующее значение тока в начале линии будет максимальным при частоте равной резонансной частоте линии.



**Рисунок 3.** График зависимости действующего значения тока в начале линии от частоты источника питания

С помощью частотной характеристики можно определить резонансную частоту и рассчитать расстояние от источника синусоидального сигнала до точки повреждения линии.

Например, дана частотная характеристика повреждённой линии (рисунок 4), где видно что,  $f_{рез} \approx 9800$  Гц.



**Рисунок 4.** Частотная характеристика тока в начале повреждённой линии

Из формулы (5) можно выразить расстояние от начала линии до места ОЗЗ.

$$l_k = \frac{V_\phi}{f_{рез}} = \frac{275000}{9800} \approx 7 \text{ км}$$

### Заключение

Построены и проанализированы кривые распределения тока и напряжения от источника синусоидального высокочастотного сигнала до места повреждения. Также построена частотная характеристика тока в начале линии. Можно сказать, что волновой метод является достаточно простым и точным способом дистанционного ОМП, но есть небольшой недостаток в необходимости использования дополнительного оборудования. Волновой метод выполняется только если переходное сопротивление не превышает 100 Ом, иначе погрешность дистанционного ОМП будет достаточно высока.

### Список литературы

1. Аржанников Е. А. Чухин А. М. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линии: Учебное пособие/ Ивановский государственный энергетический университет Иваново, 1998. — 74 с.

2. Кутин, В.М. Оптимизация процесса поиска повреждений в воздушных распределительных сетях 6-10 кВ // Электричество. — 1994. — №3. — С.28 — 35.
3. Шабанов, В.А. Определение места повреждения в распределительных сетях при однофазных замыканиях на землю: Учеб. пособие. — Уфа: Изд-во УНГТУ, 2003. — 96 с.

УДК 621.311

*Владимиров Л.В., Савинов С.А., Захаров И.А.*

Сургутский государственный университет

## СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ ПРОВОДОВ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

г. Сургут

**Аннотация.** В статье рассмотрены высокотемпературные провода, основные производители. Произведен расчет потерь электроэнергии при эксплуатации высокотемпературных проводов и марки сталеалюминевых проводов (АС) и последующее сравнение полученных потерь.

**Ключевые слова:** *высокотемпературные провода, потери электроэнергии, повышение пропускной способности.*

*Vladimirov L.V., Savinov S.A., Zakharov I.A.*

Surgut State University

## MODERN KINDS OF WIRES FOR AIR POWER LINES

Surgut

**Abstract.** the article deals with high-temperature wires, the main manufacturers. The calculation of electricity losses during the operation of high-temperature wires and the brand of steel-aluminum wires (AC) and the subsequent comparison of the losses obtained.

**Keywords:** *high-temperature wires, power losses, increased throughput.*

Повышение электропотребления является одним из аспектов необходимости повышения пропускной способности существующих линий электропередач. Существует множество способов повышения пропускной способности, это может быть, как увеличение сечения провода, так и строительство новой линии электропередач. Но все известные способы имеют различные ограничения и не всегда осуществимы.

Альтернативой решения этой проблемы выступают высокотемпературные провода. Данный тип проводов является аналогом провода АС, но, в следствии, применения более современных материалов, имеют ряд преимуществ. Для жил

высокотемпературных проводов применяются отождённый алюминий и сплавы алюминия и циркония. Сравнительная характеристика материалов представлена в таблице 1.

**Таблица 1.** Характеристики материалов жил

Характеристика	Материал токопроводящего слоя		
	Al	TAL	ZTAL
Рабочая температура, °С	80	150	210
Краткосрочный (до 30 мин) нагрев, °С	110	180	240
Температура при КЗ, °С	120	220	280
Удельное разрывное усилие, Н/мм <sup>2</sup>	160–180	160–180	160–180
Модуль упругости, Н/мм <sup>2</sup>	6·10 <sup>4</sup>	6·10 <sup>4</sup>	6·10 <sup>4</sup>
Коэффициент линейного расширения, 1/°С	2,3·10 <sup>-5</sup>	2,3·10 <sup>-5</sup>	2,3·10 <sup>-5</sup>

К преимуществам высокотемпературных проводов можно отнести:

1. Повышение пропускной способности ЛЭП;
2. Высокая прочность жил и меньшая вероятность их обрыва;
3. Повышенная надежность в зонах снегопадов, гололедообразования и тяжёлых ветровых районах;
4. Отсутствие внутренней коррозии проводов;
5. Небольшие стрелы провеса.

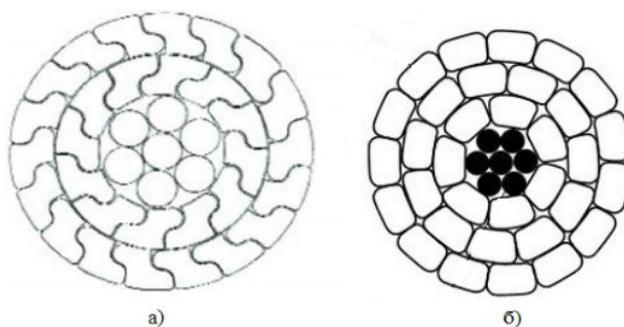
На сегодняшний день поставщиками высокотемпературных проводов в России являются:

1. Nexans, Бельгия;
2. Lumpi-Berndorf, Австрия;
3. J-Power Systems, Япония;
4. ЗМ, США;
5. ООО «ЭМ-Кабель».

Для увеличения эффективного сечения провода могут прибегать к сложным геометрическим формам жил. Так, например, существуют Z-образные и трапециевидные формы жил, поперечные сечения которых представлены на рисунке 1.

Примером марки провода с Z-образным сечением токоведущих жил можно привести провод марки AERO-Z (рисунок 2). При сравнении его с маркой AC видно, что при одинаковом диаметре провода, поперечное сечение у бельгийского аналога больше, что так же способствует увеличению пропускной способности. Стоит также отметить уменьшение удельного сопротивления и массы провода по сравнению с AC, провода с Z образной формой жил обладают меньшим

аэродинамическим сопротивлением и стойки к образованию изморозевых отложений. Сравнение марок проводов представлено в таблице 2.



**Рисунок 1.** Z-образные (а) и трапециевидные (б) формы жил



**Рисунок 2.** Поперечное сечение марки провода АЕРО-Z

**Таблица 2.** Сравнение АЕРО-Z 346-2 с АС 240/32

Марка	Диаметр, мм	Сечение, мм <sup>2</sup>	Разрывное усилие, кг	Сопротивление, Ом/км	Масса, кг/км
АС 240/32	22,4	241/32	9778	0,12182	1106
АЕРО-Z 346-2		345,65	11132	0,0974	958

Поскольку применение высокотемпературных проводов является перспективным решением при реконструкции и строительстве воздушных линий, отечественная компания ООО «ЭМ-Кабель» (г. Саранск) освоила производство проводов марки АСПТ, АСПТк, АСПТз, которые являются аналогами проводов зарубежного производства, но отличаются меньшей стоимостью при тех же эксплуатационных характеристиках. Сравнение проводов АС 240/39 и АСПТ 240/39 представлено в таблице 3.

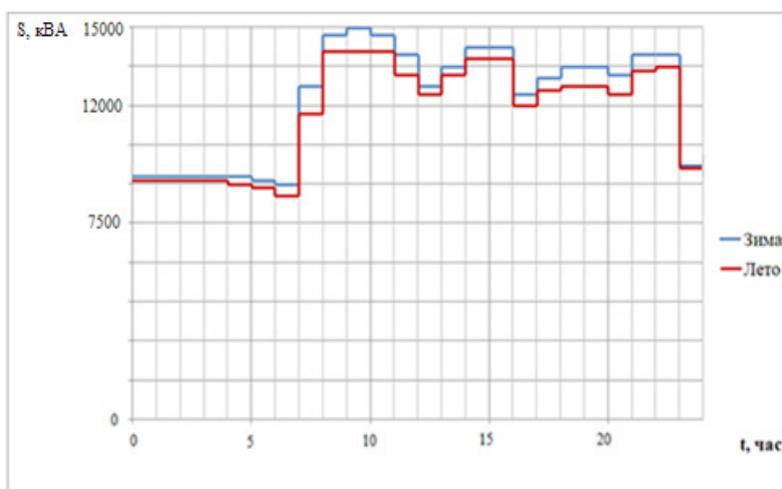
**Таблица 3.** Сравнение АС 240/39 с АСПТ 240/39

Марка	Диаметр, мм	Допустимая нагрузка по току, А	Разрывное усилие, кг	Сопротивление, Ом/км	Масса, кг/км
АС 240/39	21,55	610	80895	0,1222	952
АСПТ 240/39		1058,6	84506	0,1176	905,3



**Рисунок 3.** Поперечное сечение провода марки АСПТ

Как было отмечено ранее, существуют ситуации, когда рабочий ток линии может превышать максимально допустимый ток, например в результате увеличения нагрузки. На рисунке 4 приставлен суточный график нагрузки зима-лето для воздушной линии 35 кВ, выполненной проводом марки АС-50/8. Рабочий ток линии при заданном значении нагрузки составляет 239 А, при допустимом токе провода АС в 210 А. В качестве решения по реконструкции линии предложена замена существующего провода на провод АСПТ 50/8. В таблице 4 представлены исходные данные для расчета и характеристики проводов марок АС и АСПТ.



**Рисунок 4.** Суточный график зима-лето ВЛ 35 кВ

Для нахождения потерь энергии за год воспользуемся методом максимальных потерь. Для этого необходимо рассчитать время максимальных потерь и потери в линии в режиме максимальных нагрузок  $\Delta P_{max}$ .

**Таблица 4.** Исходные данные для расчета и характеристики проводов АС и АСПТ

Параметры проводов	АС-50/8	АСПТ АТ1/20АС 50/8
Нагрузка провода	P=11600 кВт; Q=8700 кВАр.	
Погонное активное сопротивление, Ом/км	0,5951	0,5723
Рабочий ток провода, А	239	
Стоимость провода длиной 1 км, руб.	39000	100000

Для начала необходимо найти потери мощности в линии в режиме максимальной нагрузки:

$$\Delta P_{max} = 3I_{max}^2 R;$$

Число часов использования максимума нагрузок:

$$T_{max} = \frac{(\sum_{i=1}^{24} S_{зима i}^{\%} t_i) t_{суток}^{зима} + (\sum_{i=1}^{24} S_{лето i}^{\%} t_i) t_{суток}^{лето}}{100};$$

Время максимальных потерь:

$$\tau = (0,124 + T_{max} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 7248,7 \text{ ч.};$$

Потери энергии за год:

$$\Delta W = \Delta P_{max} \cdot \tau.$$

Результаты расчетов представлены в таблице 5.

**Таблица 5.** Сравнение потерь проводов марки АС и АСПТ

Параметр	АС 50/8	АСПТ АТ1/20АС 50/8
$\Delta P_{max}$ , Вт	101980	98071,04
$T_{max}$ , ч	7034,8	
$\tau$ , ч	5998,17	
$\Delta W$ , кВт/год	611700	588250

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что применение высокотемпературных проводов может снизить потери энергии. В данном примере потери энергии за год снижаются на 4% при использовании высокотемпературного провода марки АСПТ.

Использование высокотемпературных проводов имеет ряд преимуществ перед маркой провода АС. Их установка может решить определенные задачи, как например, повышение пропускной способности линии, увеличение надежности в районах частых гололёдообразований. Но установка таких типов проводов требует определенных капиталовложений, вследствие чего, результат проектирования или реконструкции объекта может иметь увеличенный срок окупаемости. Исходя из этого, на сегодняшний день использование данных типов провода имеет ограниченную область применения.

### Список литературы

1. Петрова, Е. В. Современные типы высокотемпературных проводов воздушных линий электроэнергетических систем повышенной пропускной способности / Е. В. Петрова // Энергетика и энергосбережение. — 2011. — С. 220–225.
2. Параметры провода АС-50/8 [Электронный ресурс]. — URL: <https://e-ke.ru/sena/provod-as-50-8>.
3. Колосов С.В., Рыжов С.В., Сюзин В.Е. Повышение пропускной способности ВЛ: анализ технических решений // ЗАО НТЦ «Электросети», Москва.
4. В.Н. Курьянов, к.т.н. Инновационные высокоэффективные провода для линий электропередачи // ФГБОУ ВО НИУ «Московский энергетический институт».

УДК 004.942

*Вильбергер М.Е., Попов Н.С., Мосин М.Е., Аниброев В.И.*

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ДЕГРАДАЦИЮ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

г. Сургут

**Аннотация.** На сегодняшний день аккумуляторные батареи имеют большое значение в современной жизни каждого человека. С развитием электроники появляется все большее количество портативной техники, следовательно, возникает потребность в компактных переносных устройствах. Аккумуляторные батареи широко применяются как источники питания для автономных транспортных средств. В какой бы системе аккумуляторная батарея не применялась, ее преждевременный отказ может повлечь последствия разной степени тяжести.

**Ключевые слова:** аккумуляторная батарея, деградация, глубина разряда, ток разряда.

*Vilberger M.E., Popov N.S., Mosin M.E., Anibroev V.I.*

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

## STUDY OF PROCESSES THAT CAUSE DEGRADATION OF LITHIUM-ION BATTERIES

Surgut

**Abstract.** Currently, batteries are of great importance in the modern life of every person. With the development of electronics, there is an increasing number of portable equipment, therefore, there is a need of compact portable devices. Batteries are widely used as power sources for Autonomous vehicles. Whatever system the batteries are applied for, its premature failure can lead to consequences of varying severity. This article will discuss the processes that affect battery wear, as well as recommendations for reducing the negative impact on battery wear will be given.

**Keywords:** battery, degradation, depth of discharge, discharge current.

Автономные источники питания широко применяются в изделиях, содержащих электронные компоненты, начиная с бытовых (детских игрушек, часов, пле-

еров, фотоаппаратов и др.) и заканчивая военно-космической техникой. Отсюда большое разнообразие типов, видов и конструкций [1]. При выборе типа автономного источника питания необходимо полагаться на отдельные факторы, которые в совокупности с зарядными и разрядными характеристиками, сроком службы должны ставить параметры источника тока определенного типа выше остальных. Наибольшую эффективность как в мощностном, так и в энергетическом плане обеспечивают электрохимические источники тока. [2].

Аккумулятор характеризуется основными эксплуатационными параметрами, такими как: электрической емкостью, внутренним сопротивлением, напряжением, током саморазряда и сроком службы. Срок службы аккумуляторных батарей является определяющим показателем, которому следует уделить особое внимание, поскольку от него зависит энергоэффективность системы, в которую он установлен [3]. Изучение вопроса улучшения ресурса, экономической эффективности использования дорогостоящих аккумуляторов является актуальной проблемой, решение которой позволит улучшить потребительские свойства и доступность устройств с аккумуляторными батареями для конечного потребителя.

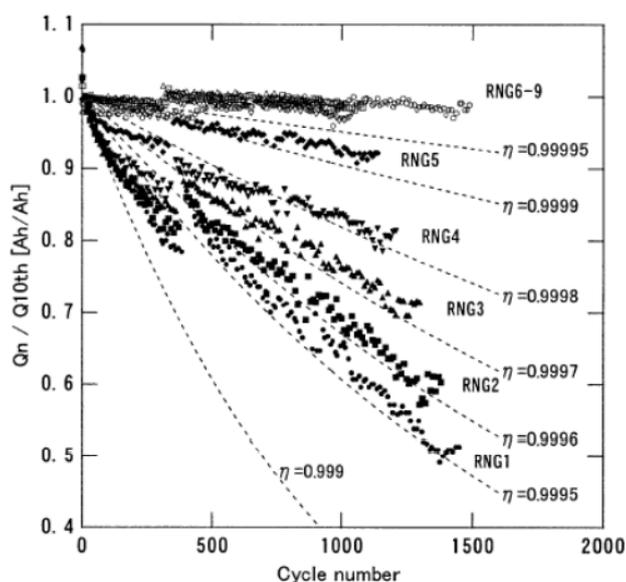
Срок службы аккумуляторов характеризуется количеством циклов заряд-разряд, которые может выдержать аккумулятор без заметного снижения разрядной емкости [4]. Для получения максимального количества циклов заряд-разряд аккумулятора необходимо выполнять условия заряда, рекомендуемые изготовителем аккумулятора [5]. Существует много способов позволяющих удовлетворительно заряжать аккумуляторы. Они отличаются друг от друга сложностью и продолжительностью заряда аккумулятора. Основными способами заряда являются: нормальный, ускоренный и контролируемый быстрый [6].

В результате нарушений условий эксплуатации и технического обслуживания появляется много неисправностей аккумуляторной батареи. Игнорирование рекомендаций производителя и правил безопасности эксплуатации приведет более быстрому износу батареи [7]. Наиболее частыми ошибками пользователей, в этом плане, является интенсивная эксплуатация аккумуляторов при недостаточном заряде или перезаряде батареи. Для оценки состояния аккумуляторных батарей нужно понимать и знать, как и что оказывает влияние на изменение того или иного параметра. Для получения необходимых знаний нужно проводить исследования, охватывающие большое количество параметров аккумуляторных батарей и соответствующие им значения основных эксплуатационных характеристик.

В статье рассматривается влияние различных процессов, которые вызывают деградацию аккумуляторных батарей. Оценка влияния этих процессов позволит составить рекомендации по использованию аккумуляторных батарей, что позво-

лить продлить их срок эксплуатации. Оценка влияния производится с использованием имитационной модели, разработанной в имитационной среде Matlab/SIMULINK. С помощью модели можно отслеживать ресурс батареи по истечению определенного количества циклов при различных условиях эксплуатации.

Деградацией называют самые разные явления и особенности систем. К ним относятся: перезаряд и необратимый саморазряд, осаждение металлического лития на отрицательном электроде, изменение состава электролита в следствии его окисления на положительном электроде и восстановления на отрицательном, снижение электрохимической активности электродов, электрохимическое и химическое растворение активного материала электродов и изменение его фазового состава, разрушение токоотводов вследствие коррозии. Эксперименты по процессам старения литий-ионных аккумуляторных батарей, которые представлены на рисунке 1, коммерческого производства впервые были проведены в 1995 году Японскими учеными [8]. Исследования показали, что один из главных показателей старения — падение емкости падает практически линейно по отношению к количеству циклов



**Рисунок 1.** Изменение отношения начальной емкости аккумуляторной ячейки к емкости при различных диапазонах напряжения

При этом режимы RNG 1–5 предполагали значительный перезаряд. Режимы RNG 6–9 предполагали заряд — разряд при рабочем диапазоне напряжения (2,5–4 В).

Основным показателем производительности аккумуляторной батареи является ее емкость. Прямое измерение номинальной емкости связано с разрядом батареи, что занимает много времени и требует ее отключения от питаемой ею

системы [9]. В связи с этим возникает необходимость в получении достоверной модели аккумуляторной батареи для получения достоверной информации о влиянии различных процессов на износ аккумулятора.

Оценку срока службы аккумулятора на основании подсчета циклов заряда-разряда нельзя считать достоверной, поскольку глубина и скорость разряда могут меняться, и нет четких стандартов того, что составляет цикл [10]. Метод замены аккумуляторной батареи с ориентировкой на дату выпуска также не является удачным, так как он не учитывает интенсивность использования устройства. Аккумулятор может выйти из строя раньше отведенного времени из-за активного или неблагоприятного для него использования.

Модель, представленная на рисунке 2, демонстрирует влияние старения на производительность аккумулятора. Батарея в течение 1000 часов циклически заряжается и разряжается при температуре окружающей среды 25 °С с разной глубиной разряда и величиной тока разряда [11].

В модели рассматривается литий-ионная аккумуляторная батарея типа  $\text{LiFeMgPO}_4$ . Параметры исследуемой батареи представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Параметры батареи типа  $\text{LiFeMgPO}_4$

Емкость, А*ч	Напряжение, В	Номинальный ток разряда, А	Внутреннее сопротивление, Ом
40	12,8	20	0,01512

Также, модель включает в себя блоки задания температуры окружающей среды, глубины разряда, тока разряда, тока заряда, а также управляемый источник тока. Подсистемы 1 и 2 содержат функцию, регулирующую процесс заряда и разряда. Знак силы тока определяет то, какой процесс протекает в емкости в настоящий момент. Положительное значение силы тока подразумевает разряд, а отрицательное — заряд.

Подсистема 3 содержит набор преобразователей сигналов.

Одним из факторов, влияющих на старение батареи, является глубина разряда батареи. Эта величина показывает, на столько процентов от максимальной емкости батарея разряжается в течение одного цикла заряд-разряд. В ходе эксперимента моделировались процессы заряда-разряда для двух различных значений глубины разряда: 20% и 80%.

На рисунке 2 представлена зависимость емкости аккумуляторной батареи от времени при различной глубине разряда и постоянном токе разряда. Результаты моделирования показали, что при глубине разряда 20%, емкость уменьшилась на 1.4%, а при глубине разряда 80% — на 2.7%.

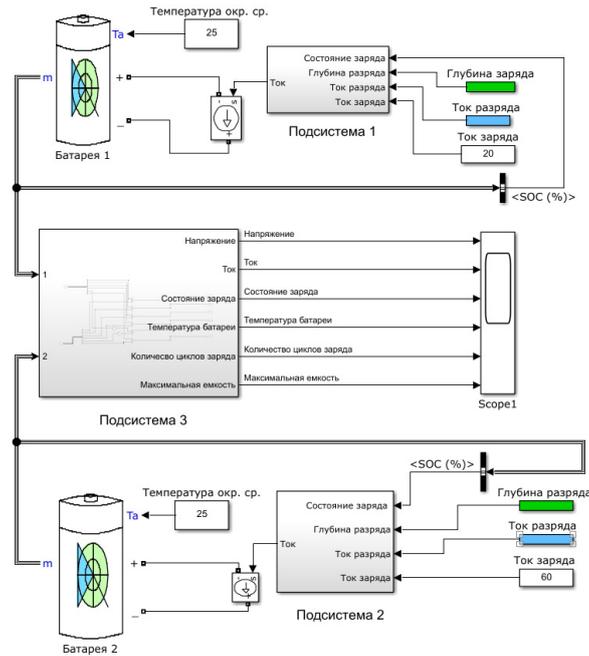


Рисунок 2. Модель оценки старения аккумуляторной батареи

Чем больше величина глубины разряда, тем дольше без подзарядки может работать устройство, в котором установлена эта батарея. Но исходя из результатов моделирования использование такого режима работы батареи ведет к ускоренному снижению емкости батареи.

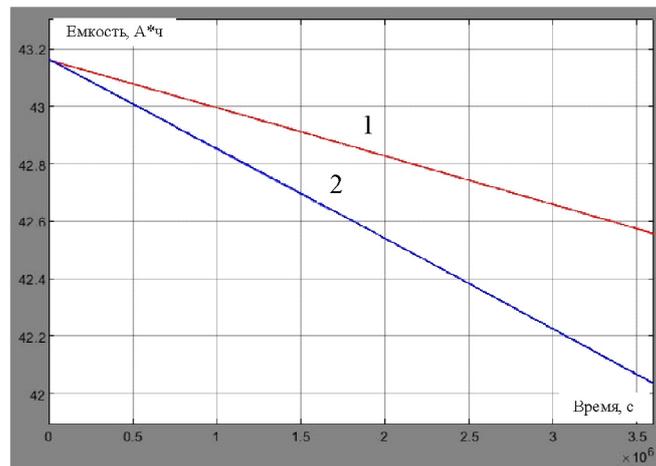


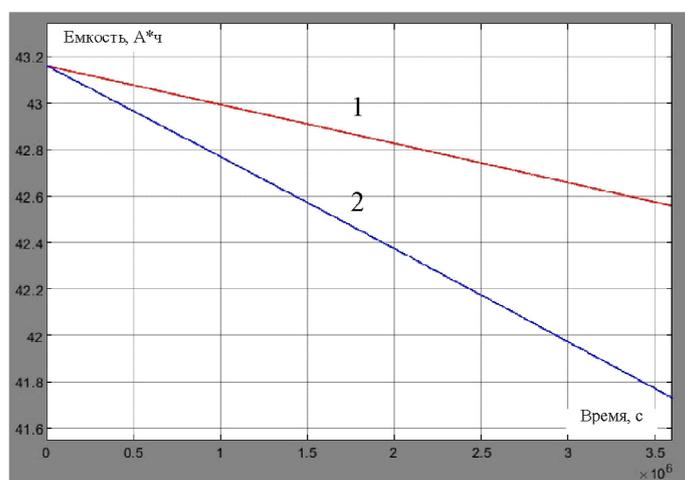
Рисунок 3. Зависимость емкости аккумуляторной батареи от времени при различной глубине разряда и постоянном токе разряда (синяя — глубина разряда 80%; красная — глубина разряда 20%)

Аккумуляторные батареи можно заряжать с различной скоростью, которая пропорциональна силе тока, протекающего через аккумулятор. При увеличении

как зарядного, так и разрядного токов повышается не только интенсивность эксплуатации, но и скорость старения.

На рисунке 4 представлена зависимость емкости аккумуляторной батареи от времени при различном токе разряда и постоянной глубине разряда. Результаты моделирования показали, что при токе разряда 20 А, емкость уменьшилась на 1.4%, а при токе разряда 80 А — на 3.2%.

Например, если батарея используется для питания двигателей автономного транспортного средства, то увеличение тока разряда позволяет достичь больших значений крутящего момента двигателя, что ведет к улучшению характеристик транспортного средства. Однако, стоит учитывать, что использование большого разрядного тока с течением времени ведет к существенному уменьшению емкости батареи.



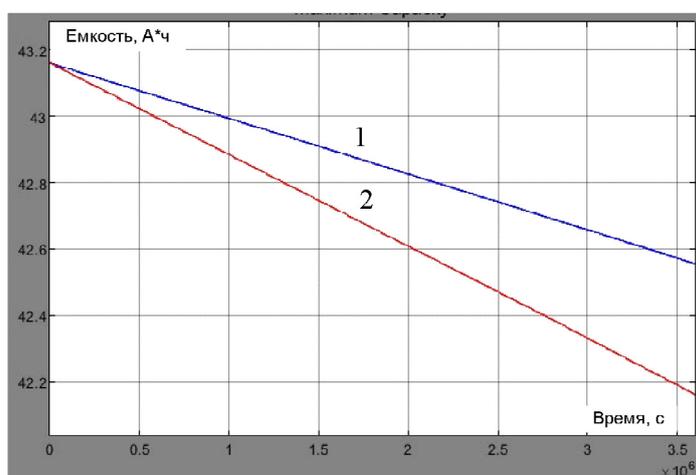
**Рисунок 4.** Зависимость емкости аккумуляторной батареи от времени при различном токе разряда и постоянной глубине разряда (синяя — ток разряда 80 А; красная — ток разряда 20 А)

На рисунке 5 представлена зависимость емкости аккумуляторной батареи от времени при различном токе заряда и постоянной глубине разряда. Результаты моделирования показали, что при токе заряда 20 А, емкость уменьшилась на 1%, а при токе заряда 60 А — на 1.9%.

Увеличивая ток заряда батареи, можно достичь более быстрой скорости заряда батареи. В некоторых ситуациях это может быть полезно, например, когда необходимо за короткий промежуток времени зарядить батарею до 100%, но в таком случае, стоит помнить, что при частых таких режимах максимальная емкость батареи существенно снижается.

Для аккумуляторных батарей уровень заряда является одним из факторов, влияющих на ресурс. Увеличение ресурса можно достичь уменьшением глубины разряда, а также достижением одинакового уровня степени заряженности. Стоит

отметить, что слишком малое значение глубины разряда приводит к значительному увеличению числа циклов заряд-разряд. При этом эксплуатация в средних диапазонах улучшает ресурс, в отличие от эксплуатации при высоких диапазонах степени заряженности, т.е. неполный заряд батареи также повышает максимальное количество циклов. Рекомендуется не допускать полного заряда АБ потому, что высокое напряжение вызывает разбалансирование батареи. Выбор нижнего порога напряжения или полное устранение заряда насыщения продлевает срок службы батареи, однако снижает время автономной работы.



**Рисунок 5.** Зависимость емкости аккумуляторной батареи от времени при различном токе заряда и постоянной глубине заряда (синяя — ток заряда 60 А; красная — ток заряда 20 А)

Еще одним фактором, влияющим на ресурс аккумуляторной батареи, является величина разрядного тока. При увеличении величины разрядного тока значительно повышается внутренняя температура аккумуляторной ячейки, что увеличивает скорость коррозии пластин, а это приводит к снижению срока службы аккумуляторной батареи.

### Список литературы

1. Н. В. Коровин, «Топливные элементы и электрохимические электростанции», Московский энергетический институт, 2005, с.280.
2. Ю. Б. Каменев, И. Г. Чезлов, «Современные химические источники тока», Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения, 2009, с. 94.
3. Л.С. Каневский, В.С. Дубасова, «Деградация литий-ионного аккумулятора и методы борьбы с ним», Электрохимия, 2005, стр. 3-19.

4. Ютт В. Э., Оспанбеков Б. К. Перспективные направления развития зарядных станций для электромобилей // Транспортная электроника и электрооборудование. 2013. С. 10-12.
5. Б. К. Оспанбеков, Т. В. Голубчик, К. М. Сидоров, «Технологические аспекты зарядной инфраструктуры для электромобилей», Транспортная электроника и электрооборудование, 2013, с. 35-38.
6. P. Hou, “Comparison among Chargers of Electric Vehicle Based on Different Control Strategies,” Energy and Power Engineering, 2013, с. 1398-1403
7. R. Deshpande, “Battery Cycle Life Prediction with Coupled Chemical Degradation and Fatigue Mechanics,” Journal of The Electrochemical Society, 2012, с. 1730-1738.
8. M. Ecker, “Calendar and cycle life study of Li(NiMnCo)O<sub>2</sub>-based 18650 lithium-ion batteries,” Journal of Power Source, 2014, с. 839-851.
9. I. Laresgoiti, S. Kabitz, M. Ecker, and D. U. Sauer, “Modeling mechanical degradation in lithium ion batteries during cycling: Solid electrolyte interphase fracture,” Journal of Power Sources, vol. 300, с. 112–122, 2015.
10. J. Groot, “State-of-Health Estimation of Li-ion Batteries: Ageing Models,” Doctoral Thesis at the Graduate School in Energy and Environment, Chalmers University of Technology, 2014.
11. P Gorny, Morz, “Monitoring and Health prognosis of Lithium-Ion battery system,” 8th European Workshop On Structural Health Monitoring (EWSHM 2016), 2016, с. 2756-2764.

УДК 621.396.946

*Дёмко А.И.<sup>1</sup>, Лобанов П.Ю.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> БУ ВО Сургутский государственный университет ХМАО-Югры, г. Сургут

<sup>2</sup> г. Тюмень

## УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

г. Сургут

**Аннотация.** Широкое использование сенсорных сетей в разных сферах нашей жизни и отраслях промышленности требует их усовершенствования и оптимизации, направленных на увеличение времени необслуживаемой работы при высокой надёжности, небольшой стоимости и небольших размерах автономных узлов сети. Целью статьи является рассмотрение вариантов буферизации элементов питания узлов сенсорной сети. В статье рассмотрены схемы буферизации с суперконденсаторами и солнечными батареями. Представленные результаты могут быть использованы в технике связи.

**Ключевые слова:** суперконденсатор, разрядные характеристики, солнечная батарея, датчик, радиомодем.

*Dyomko A.I.<sup>1</sup>, Lobanov P.Yu.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Surgut State University KMAO-Ugra, Surgut

<sup>2</sup> Tyumen

## INCREASING THE RELIABILITY OF SENSOR NETWORKS

Surgut

**Abstract.** The widespread use of sensor networks in various areas of our lives and industries requires their improvement and optimization, aimed at increasing the maintenance-free operation time with high reliability, low cost and small size of autonomous network nodes. The purpose of the article is to consider options for buffering the batteries of the sensor network nodes. The article discusses buffering schemes with supercapacitors and solar panels. The presented results can be used in communication technology.

**Keywords:** supercapacitor, discharge characteristics, solar battery, sensor, radio modem.

Использование беспроводных сенсорных сетей в последние годы нарастает настолько стремительно, что начинает теснить традиционные проводные технологии, надёжность которых подтверждается длительной историей их применения.

Предпосылками широкого перехода от проводных к беспроводным технологиям являются:

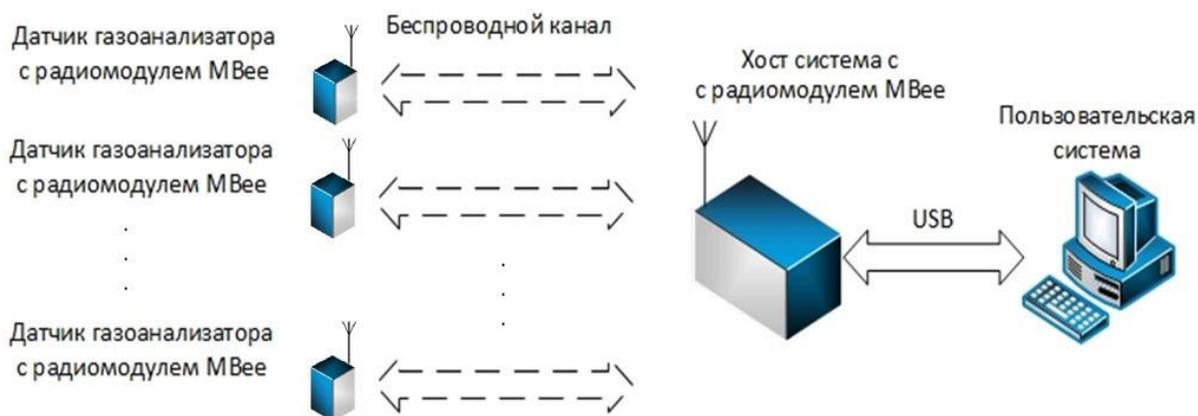
- Провода большой протяженности являются с одной стороны элементарными излучателями, что создаёт помехи для других радиосредств, с другой стороны, являются элементарными приёмными антеннами, что добавляет помехи к передаваемым по проводам сигналам.
- Использование проводных линий требует значительного временных и финансовых затрат на этапе развёртывания.
- Наличие естественных препятствий на маршруте передачи информации (озёра, реки, горы, поселения и др.) затрудняют работы на этапе строительства.
- Расположение источников информации (датчиков) в труднодоступных для потребителя информации местах.
- Уязвимость проводных линий к природным и техногенным воздействиям.
- Особые условия работы датчиков, исключаяющие или усложняющие подключение посредством проводов (повышенная влажность, экстремальные температуры и т. п.).
- Высокая стоимость проводов.

С учётом вышеизложенного очевидна целесообразность постепенного перехода на беспроводные технологии в тех сферах обмена информацией, где подобный переход подтверждается соответствующими экономическими расчётами. Массовое использование беспроводных сенсорных сетей в настоящее время часто ограничивается энергетическими, массогабаритными и временными параметрами доступных для использования автономных (чаще всего, химических) источников питания [1]. В простейшем случае источник питания удалённого объекта сенсорной сети представляет собой одну литиевую батарею, что является оптимальным по массогабаритным и финансовым показателям. Выступающие при этом на первое место проблемы автономного времени и безотказности работы удалённого узла требуют оптимизации, что в большинстве случаев ведёт к усложнению структуры сенсорной сети.

Рассмотрим систему газового мониторинга (рис. 1), включающую в себя датчики газоанализаторов [2], систему беспроводной связи и пункт сбора информации. Такая структура может объединять удалённые сенсоры и других типов.

Беспроводная сеть газового мониторинга представляет собой эквивалентный радиодлинитель последовательного порта: беспроводной контроллер принимает

данные по UART-интерфейсу и передает их по беспроводному каналу. Хост-система подключена к порту беспроводного контролера и обеспечивает обмен данными.



**Рисунок 1.** Структурная схема беспроводной сети газового мониторинга

Работа беспроводной сети состоит в скоординированном взаимодействии системы удалённых датчиков с хост системой.

Каждый из сенсорных узлов работает по следующему алгоритму:

- периодическое (с возможностью экстренного) пробуждение, проведение измерений, запись результатов в память;
- проверка наличия подключения к хост-узлу;
- при успешном подключении производится переход в режим ожидания команд;
- выполнение действий, соответствующих пришедшим командам управления;
- при отсутствии подключения к хост-узлу происходит переход в спящий режим до следующего пробуждения по внутреннему таймеру или экстренному прерыванию.

Хост система работает по следующему алгоритму:

- ожидание запросов на подключение;
- после подключения происходит трансляция команд управления сенсорному узлу;
- передача по USB данных, пришедших от каждого сенсорного узла хост-компьютеру.

Блок схема алгоритма работы сенсорного узла с датчиком представлена на рис. 2.

Как следует из представленного алгоритма, энергопотребление автономного устройства зависит от энергопотребления датчика, энергопотребления микроконтроллера и энергопотребления радиомодема. Естественно, что энергопотре-

бление систем передачи данных будет зависеть от времени передачи и мощности передатчика радиомодема. Энергопотребление датчика во многих случаях определяется принципом его действия и в большинстве случаев не поддаётся оптимизации.

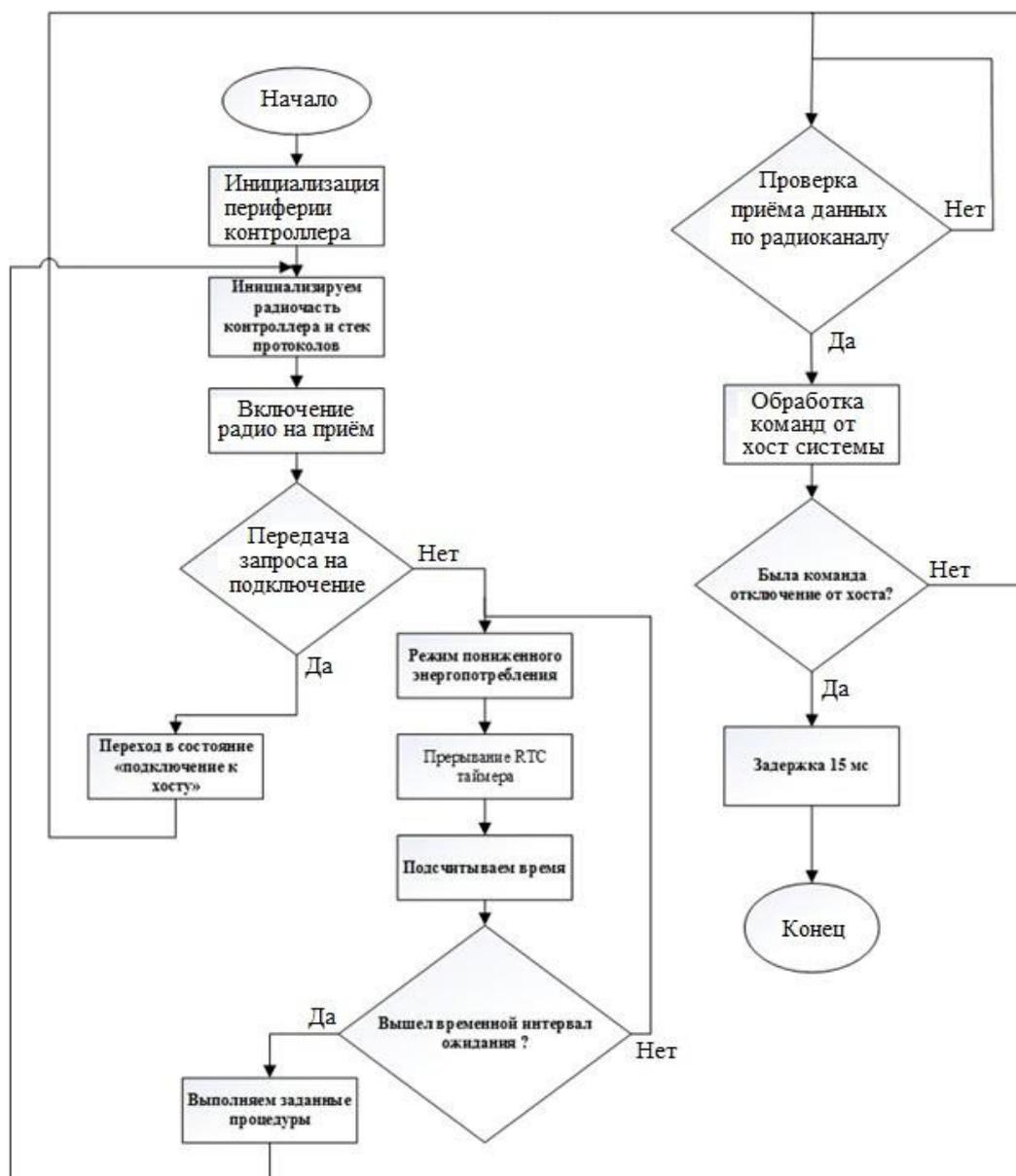


Рисунок 2. Блок схема алгоритма работы сенсорного узла с датчиком

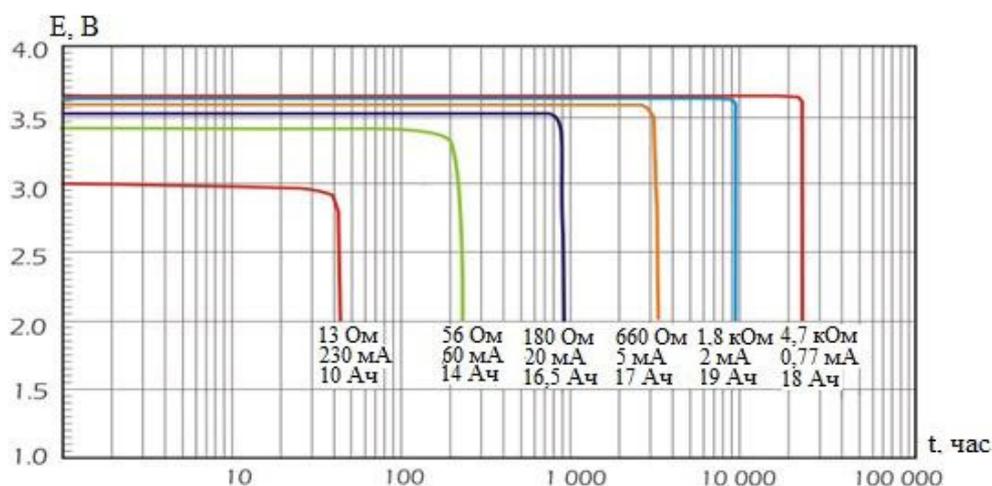
Рассмотрим варианты оптимизации энергопотребления при использовании для питания автономного устройства одних из самых оптимальных к настоящему времени батарей, выполненных по технологии  $\text{LiSOCL}_2$ , как имеющих высокую удельную энергию среди других при сравнимой стоимости.

Параметры  $\text{LiSOCL}_2$  батарей фирмы EEMB типоразмеров D и C представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Характеристики батарей EEMB ERxx

№	Характеристики	Значение	Значение
1	Марка элемента	EEMB ER34615	EEMB ER26500
2	Химический состав	Li-SOCl <sub>2</sub>	Li-SOCl <sub>2</sub>
3	Номинальное напряжение, В	3,6	3,6
4	Номинальная емкость, Ач	19	9
5	Стандартный ток разряда, мА	2	2
6	Продолжительный ток разряда, мА	230	100
7	Импульсный ток разряда, мА	500	200
8	Размер, мм <sup>2</sup>	34x61,5	26x50
9	Рабочая температура, °С	-55...+85	-55...+85
10	Срок хранения, лет	10	10
11	Саморазряд, не более, % в год	1	1

Приведённые параметры доказывают возможность использования подобных батарей для длительного питания необслуживаемых объектов, эксплуатируемых в сложных метеорологических условиях. Однако потенциальная возможность реализации этих параметров зависит от условий эксплуатации. На практике рабочая ёмкость сильно зависит от режима токопотребления (рис. 3).



**Рисунок 3.** Разрядные характеристики батареи EEMB ER34615 при разных токах

Из приведённого рисунка следует, что при небольших токах потребления (менее 20 мА) энергоотдача батареи будет превышать 87% от номинальной ёмкости при незначительном (до 2,7%) уменьшении ЭДС под нагрузкой. Увеличение токопотребления до 60 мА и выше приводит к существенному снижению энергоотдачи (на 26% — 47%) при значительном уменьшении ЭДС (на 5,4% — 16,7%). Следовательно, при использовании батарей с рабочими токами, превышающими оптимальные, ощутимо сокращается время их работы.

Для решение этой проблемы можно использовать буферный суперконденсатор. Такое дополнение позволяет значительно продлить работу беспроводной сети, увеличивая надёжность её работы особенно на последней стадии ресурса работы батареи.

Рассмотрим следующий пример рабочих параметров беспроводного узла: данные собираются каждые тридцать минут и отправляются за один сеанс. Передача данных занимает 200 мс при потреблении тока в этот период 20,5 мА (мощность передатчика радиомодема 10 дБм) от радиомодуля и 5 мА от датчика газоанализатора. Такой импульсный ток превышает оптимальные значения батареи, поэтому целесообразно использовать буферную схему хранения энергии [3].

Схема буферизации батареи включает в себя суперконденсатор (ионистор) и схему дозированного заряда (оптимальным током) суперконденсатора (рис. 4).

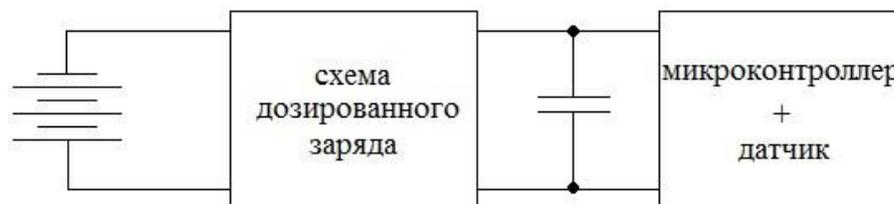


Рисунок 4. Схема буферизации батареи

Для расчёта схемы необходимо знать допустимые пределы изменения напряжения питания для микроконтроллера и датчика. Если микроконтроллер питается непосредственно от суперконденсатора, то для обеспечения работоспособности микроконтроллера напряжение не должно выходить за пределы 1,9 — 3,6 В (микроконтроллеров семейства MSP430xx), следовательно, напряжение на суперконденсаторе в процессе разряда может измениться на 1,7 В. Суперконденсаторы небольшой ёмкости (менее 1 Ф) имеют максимальное рабочее напряжение 5 В; 6,3 В, большой (более 2 Ф) ёмкости 2,5; 2,7; 2,85; 3 В.

Предположив, что необходимое значение ёмкости не превысит 1 Ф, определим требуемую ёмкость суперконденсатора, заряжаемого до напряжения 3,6 В:

$$C = \frac{2 \cdot I \cdot T \cdot U_{\max}}{U_{\max}^2 - U_{\min}^2},$$

где  $C$  — требуемая емкость буферного конденсатора (мкФ),

$I$  — потребляемый нагрузкой ток (мА),

$T$  — время передачи (мс),

$U_{max}$  — максимальное напряжение заряда буферного конденсатора (В),  
 $U_{min}$  — минимальное напряжение разряда буферного конденсатора (В).

$$C = \frac{2 \cdot 25,9 \cdot 200 \cdot 3,6}{3,6^2 - 1,9^2} = 3988 \quad \text{мкФ} \approx 0,004 \quad \Phi$$

Результаты расчёта для батареи ER34615 в соответствии с [4] представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Расчет длительности работы автономного узла

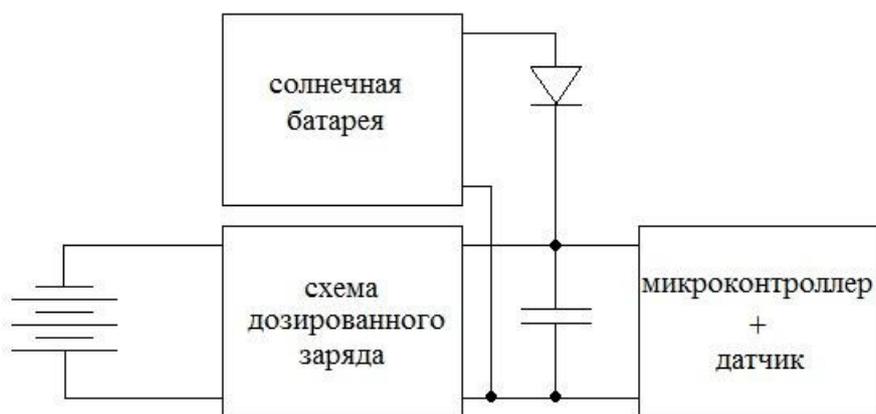
№	Параметр	Значение
1	Тип батареи	ER34615
2	Номинальное напряжение батареи	3,6 В
3	Ёмкость батареи	19000 мАч
4	Рекомендуемый ток	230 мА
5	Максимальное напряжение заряда буферного элемента	3,6 В
6	Минимальное напряжение разряда буферного элемента	1,9 В
7	Длительность активного режима	200 мс
8	Потребление в активном режиме	25,9 мА
9	Расчетная ёмкость буферного элемента	3988 мкФ
10	Выбранная ёмкость буферного элемента	0,022 Ф
11	Максимальный импульсный ток потребления от батареи	2 мА
12	Продолжительность работы автономного узла	18 лет

Как следует из выполненных расчётов, при заданных параметрах элемент питания обеспечивает работу автономного устройства в течение всего срока службы. Без ущерба для решения задачи ёмкость элемента питания может быть уменьшена (9 Ач), что соответствует значительно меньшим габаритам и весу батареи.

Несмотря на то, что на рис. 3 приведена разрядная зависимость для 20 мА, а при расчётах использовалось значение тока нагрузки 25,9 мА, существенного эффекта по используемой ёмкости элемента питания не достигнуто (эффект проявляется при 60 мА и более), полезность схемы буферизации проявляется и при небольших токах нагрузки. В ходе эксплуатации автономных приборов в регионе ХМАО установлено, что при низких температурах (минус 30 °С и ниже) резко увеличивается число отказов по питанию, связанное с тем, что при включении радиомодема автономного прибора на передачу возрастает потребляемый ток и напряжение батареи падает (до 1,5 В и менее) из-за увеличения внутреннего сопротивления батареи при низких температурах. Установлено, что это проявляется для батарей, ёмкость которых израсходована на 60% и более, хотя при положительных и небольших температурах отрицательных эти батареи ра-

ботаю́т исправно. Буферизация уменьшит падение напряжения на внутреннем сопротивлении батареи при низких температурах, устранив отказы по питанию.

Другим полезным проявлением буферизации может быть возможность дополнительного уменьшения ёмкости элемента питания (размера, веса) за счёт использования в светлое время суток солнечных батарей для заряда суперконденсатора (рис. 5).



**Рисунок 5.** Схема буферизации батареи с солнечной батареей

С учётом типовых значений удельного тока короткого замыкания для поликристаллических кремниевых солнечных батарей (около  $30 \text{ мА/см}^2$ ), при зарядном токе до  $5 \text{ мА}$  размеры солнечных элементов, которые следует использовать для зарядки (с возможностью заряда в пасмурную погоду, когда ток короткого замыкания может уменьшаться на порядок по сравнению с солнечной погодой) могут составлять не более  $5 \times 5 \text{ см}^2$ .

Рассмотренные в статье схемы буферизации элементов питания в автономных устройствах увеличивают надёжность и время необслуживаемой работы сенсорных сетей. Простота предложенных схем обеспечивает возможность их встраивания в существующие системы. Представленные в статье результаты могут быть использованы в сенсорных и других беспроводных сетях обмена информацией.

### Список литературы

1. Дёмко А.И., Семенов О.Ю. Универсальный источник электропитания автономных приборов с длительным временем работы // Электронные средства и системы управления: Материалы докладов XVI Международной научно-практической конференции (18–20 ноября 2020 г.): — ч. 1. — Томск: В-Спектр, 2020. — С. 191-194.

2. Дёмко А.И., Лобанов П.Ю. Универсальный газосигнализатор // Север России: стратегии и перспективы развития: материалы III Все-рос. науч.-практ. конф. (г. Сургут, 26 мая 2017 г.): в 3 т. — Сургут. гос. ун-т. — Сургут: ИЦ СурГУ, 2017. — Т. II. — С. 28-29.
3. Пушкарев О.Н. Как достичь максимального времени работы беспроводного узла с автономным питанием // Новости электроники. — №2. 2015. — С. 27-31.
4. Перфильев А.Е. Модели и алгоритмы расчета эксплуатационной надёжности и отказоустойчивости телекоммуникационных систем // Информационные и телекоммуникационные технологии в интеллектуальных системах. — М., 2012. — С. 110-122.

УДК 621.315.668

*Кислицин Е.Ю., Завьялов Д.В.*

БУ ВО «Сургутский государственный университет»

РАСЧЕТ ВЕТРОВОЙ И ГОЛОЛЕДНОЙ НАГРУЗИ НА  
ПРОМЕЖУТОЧНУЮ ОПОРУ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ  
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЯ 110 КВ  
ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

г. Сургут

**Аннотация.** В данной статье, рассматривается вариант применения композиционных опор в случае необходимости проектирования воздушных линий электропередач компактного исполнения, произведен расчет ветровой и гололедной нагрузки на промежуточную опору воздушной линии электропередачи, выполненной из композиционных материалов с применением самонесущего провода СИП-7. Произведено габаритное сравнение композиционной опоры с железобетонной промежуточной опорой ПБ 110.

**Ключевые слова:** *воздушные линии электропередач, композиционная опора, самонесущий изолированный провод СИП, ветровая и гололедная нагрузка.*

*Kislitsin E. Yu., Zavyalov D. V.*

Surgut State University, Surgut

CALCULATION OF WIND AND ICE LOAD ON THE  
INTERMEDIATE SUPPORT OF AIR LINE OF POWER SUPPLY  
OF VOLTAGE 110 KV FROM COMPOSITE MATERIALS

**Abstract.** In this article, the option of using composite supports is considered if it is necessary to design compact overhead power lines, the calculation of wind and ice load on the intermediate support of the overhead power line is made, made of composite materials using self-supporting wire SIP-7. A dimensional comparison of the composite support with the reinforced concrete intermediate support PB 110 was made.

**Key words:** *overhead power lines, composite support, self-supporting insulated self-supporting insulated wire, wind and ice load.*

В современных тенденциях развития электроэнергетики всё чаще появляются задачи по проектированию энергетических систем, которые должны удовлетворять таким критериям как: компактность исполнения энергообъектов и сооружений, уменьшение охранной зоны, применение композиционных материалов, а также внедрение инновационных технологий. Естественно, такие энергосистемы, должны быть спроектированы в соответствии с Правилами устройства электроустановок. Так, например, именно по этой причине, при проектировании воздушных линий электропередач (ЛЭП) 110 кВ, которые должны удовлетворять данным условиям начинают вводить в эксплуатацию узкобазовые промежуточные и анкерные опоры из композиционных материалов, которые оснащены изолирующими траверсами и специальной арматурой для крепления изолированного провода.

Если стоит задача по достижению минимальной охранной зоны в районе прохождения линии электропередач, необходимо использование изолированных проводов в составе компактной воздушной линии, помимо этого внедрение изолирующих траверс и стоек опор из композиционных материалов, это в свою очередь позволит спроектировать линию с минимально допустимыми расстояниями между проводами. Так компактное расположение фаз приводит к усилению электромагнитного поля, и как следствие, позволяет обеспечить увеличение пропускной способности линии, за счет того, что фазы находятся ближе друг к другу. Более компактное расположение токоведущих проводов так же приводит к тому, что во внешнем пространстве вокруг линии, происходит уменьшение электромагнитного поля, и, как следствие, улучшаются экологические показатели.

Для определения ветровой и гололедной нагрузки на композиционные опоры произведён расчет. Выбран провод СИП-7, его параметры приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Параметры провода СИП-7

Параметр	Величина
Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	185
Наружный диаметр, мм	31,8
Внутренний диаметр, мм	15,8
Масса изолированного провода на 1 км, кг/км	1085

Данный провод обеспечивает необходимые токовые и механические нагрузки линии, а также он соответствует требованиям ПУЭ по условиям образования короны и радиопомех, так как его диаметр более 11.4 мм.



**Рисунок 1.** Провод СИП-7

Выбрана двухцепная промежуточная опора, изготовленная из композиционных материалов, на которой устанавливаются изолирующие траверсы с тягой, которые имеют арматуру крепления, предназначенную для фиксации провода СИП-7. Параметры данной опоры представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры композиционная опоры

Параметр	Величина
Суммарная высота стойки, мм	26300
Глубина установки в грунт, мм	3300
Высота надземной части, мм	23000
Расстояние по осям проводов двух цепей, мм	2500
Общая масса композиционной промежуточной опоры в сборе, кг	1450

Можно заметить, что если сравнивать конструкцию данной композиционной опоры с опорой ПБ 110, то видно, что благодаря своим конструкционным особенностям, габаритные размеры опоры из композитных материалов по вылету меньше, чем у ПБ 110, а именно вылет провода относительно оси опоры меньше на 2250 мм. Ссылаясь на ПУЭ, производимый расчет, на промежуточную опору, необходимо выполнять с определением нагрузок на 1 метр пролета.

Нормативная ветровая нагрузка на провода и тросы, действующая перпендикулярно проводу (тросу), для каждого рассчитываемого условия определяется по формуле:

$$P_W^H = a_W K_1 K_W C_X W F \sin^2 \varphi \quad (1)$$

Из формулы (1):

$a_W$  — коэффициент неравномерности ветрового давления по пролету воздушной линии принимаемый по таблице 3.

$K_1 = 1$  — коэффициент, влияния длины пролета на ветровую нагрузку;

$K_w = 0,85$  — коэффициент изменения ветрового давления по высоте от типа местности, определяемый по таблицам ПУЭ;

$C_x = 1,1$  — коэффициент лобового сопротивления для проводов диаметр которых 20 мм и более свободных от гололеда

$C_x = 1,22$  — коэффициент лобового сопротивления для всех проводов покрытых ледяной коркой;

$W$  — нормативное ветровое давление, Па, в рассматриваемом режиме:

$W = W_0 = 500$  Па — определяется по таблицам ПУЭ в зависимости от ветрового района;

$W = W_1 = 160$  Па — определяется с учетом гололеда по таблицам ПУЭ;

$F$  — площадь продольного диаметрального сечения провода,  $m^2$  ;

$b_3 = 15$  мм толщина стенки гололеда;

$\varphi$  — угол между направлением ветра и осью ВЛ, принимаем  $\varphi = 90^\circ$ .

Таблица 3

Ветровое давление, Па	До 200	240	280	300	320	360	400	500	580 и более
Коэффициент $a_w$	1	0,94	0,88	0,85	0,83	0,80	0,76	0,71	0,70

Площадь продольного диаметрального сечения провода или троса, с образованием наледи на проводах, определяется по формуле:

$$F = (d + 2K_i K_d b_3) l \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

Из формулы (2):

$d = 31,8$  мм — диаметр провода;

$K_i = 1$  и  $K_d = 0,8$  — коэффициенты изменения толщины стенки гололеда по высоте и в зависимости от диаметра провода (в случае отсутствия стенки гололеда приняты равными 1.0);

$b_3$  — толщина стенки гололеда, мм;

$l = 1$  м — длина ветрового пролета.

Расчет площади продольного диаметрального сечения провода или троса без образования наледи на проводах:

$$F = 31,8 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0,0318 \text{ м}^2.$$

Расчет площади продольного диаметрального сечения провода или троса с учетом образования наледи на проводах:

$$F = (31,8 + 2 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 15) \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0,0558 \text{ м}^2.$$

Расчет нормативной ветровой нагрузки на провода и тросы, действующая перпендикулярно проводу (тросу), в случае без образования наледи на проводах, определяемой по формуле (1):

$$P_{W0}^H = 0,71 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1,1 \cdot 500 \cdot 0,0318 \cdot \sin^2(90^\circ) = 10,56 \text{ Н/м.}$$

Расчет нормативной ветровой нагрузки на провода и тросы, действующая перпендикулярно проводу (тросу), в случае с образование наледи на проводах, определяемой по формуле (1):

$$P_{W1}^H = 1 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1,2 \cdot 160 \cdot 0,0558 \cdot \sin^2(90^\circ) = 9,11 \text{ Н/м.}$$

Нормативная линейная гололедная нагрузка на 1 м провода и трос определяется по формуле:

$$P_{\Gamma}^H = \pi K_i K_d b_3 (d + K_i K_d b_3) \rho g \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Из формулы (3):

$K_i = 1$  и  $K_d = 0,8$  — коэффициенты, учитывающие изменение толщины стенки гололеда по высоте и в зависимости от диаметра провода (в случае отсутствия стенки гололеда приняты равными 1.0);

$b_3 = 15$  — толщина стенки гололеда, мм;

$d = 31,8$  — диаметр провода, мм;

$\rho = 0,9$  — плотность льда, г/см<sup>3</sup>;

$g = 9,8$  — ускорение свободного падения, м/с.

Расчет нормативной линейной гололедной нагрузки на 1 м провода и трос:

$$P_{\Gamma}^H = \pi \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 15(31,8 + 1 \cdot 0,8 \cdot 15)0,9 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 14,564 \text{ Н/м}$$

Ветровая нагрузка на провода воспринимаемая опорами:

$$P_W = P_W^H \cdot \gamma_{nw} \gamma_p \gamma_f \quad (4)$$

Из формулы (4):

$P_W^H$  — нормативная ветровая нагрузка на провода и тросы, действующая перпендикулярно проводу или тросу;

$\gamma_{nw} = 1$  и  $\gamma_p = 1,3$  — коэффициент надежности, который находится согласно ПУЭ, пункту 2.5.54

$\gamma_p = 1,3$  — региональный коэффициент принимаемый находится в соответствии с ПУЭ ;

$\gamma_f = 1,3$  — коэффициент надежности по ветровой нагрузке для проводов, как для случая, когда провода покрыты ледяной коркой, так и для случая, когда провода не покрыты гололедом.

Расчет ветровой нагрузки на провода воспринимаемая опорами, без образования наледи на проводах:

$$P_{W0Y} = 10,56 \cdot 1,3 \cdot 1,3 = 17,85 \text{ Н/м.}$$

Расчет ветровой нагрузки на провода воспринимаемая опорами, в случае с образованием льда на проводах:

$$P_{W0Y} = 9,11 \cdot 1,3 \cdot 1,3 = 15,4 \text{ Н/м.}$$

Линейная гололедная нагрузка на 1 метр провода или троса, воспринимаемая опорами, определяется по формуле:

$$P_{Г0} = P_{Г}^H \cdot \gamma_{nr} \gamma_p \gamma_f \gamma_d \quad (5)$$

Из формулы (5):

$P_{Г}^H$  — нормативная линейная гололедная нагрузка, рассчитанная на 1 м провода и троса, определяемая по формуле (3);

$\gamma_{nr} = 1$  — коэффициент надежности, находится в соответствии с ПУЭ, пункту 2.5.55

$\gamma_p = 1,2$  — региональный коэффициент, принимаются согласно ПУЭ, пункту 2.5.55;

$\gamma_f = 1,3$  — коэффициент надежности по гололедной нагрузке для района I и II категории по образованию льда;

$\gamma_d = 1$  — коэффициент условия работы.

Расчет линейной гололедной нагрузки на 1 метр провода или троса, воспринимаемая опорами:

$$P_{Г0} = 14,564 \cdot 1,2 \cdot 1,3 = 22,72 \text{ Н/м.}$$

Расчет погонного веса провода на 1 метр:

$$P_{B0} = q \cdot g = 1.085 \cdot 9.8 = 10.633 \text{ Н/м.} \quad (6)$$

Расчет удельной нагрузки проводов с гололедом как суммы линейной гололедной нагрузки на 1 метр провода и погонного веса провода из формулы (6):

$$Q_{\text{ГП}} = 22,72 + 10,633 = 33,35 \text{ Н/м.}$$

Далее необходимо выявить максимальное расстояние между опорами. Для изолированного провода СИП-7 усилие тяжести, по требованию, не должно превышать  $45 \text{ Н/мм}^2$  сечения токопроводящей жилы. Таким образом можно вычислить максимальное тяжение провода:

$$P_T = 45 \cdot 185 = 8325 \text{ Н;}$$

В условиях городской застройки, высота между землей и проводом, между двух опор, допустимо до определенного значения, а именно в 7 метров. При этом стрела провеса провода в пролете должна быть не более  $f = 6 \text{ м}$ , с учетом высоты точки подвеса нижнего провода на опоре 13 м.

Расчет величины пролета:

$$L = \sqrt{\frac{8 \cdot f \cdot P_T}{Q_{\text{ГП}}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 6 \cdot 8325}{33,35}} = 109,5 \text{ м.}$$

В ходе расчета было выявлено что, габаритное расстояние между композитными опорами с изолированным проводом СИП-7, не должно превышать 109,5 метров, а максимальное тяжение провода, как в случае образования наледи на проводах, так и в случае отсутствия ледяной корки, не должно быть больше чем 8325 Н.

Согласно ПУЭ были определены ветровые и гололедные нагрузки на промежуточную композиционную опору из композиционных материалов и проводом СИП-7, было выявлено, что прочность данных опор обеспечивается с достаточным запасом, что гарантирует высокую надежность эксплуатации данных ВЛ.

### Список литературы

1. Данилов Г.А. Разработка электросетевых конструкций на напряжение 110–220 кВ из композитных материалов / В.П. Горелов, С.В. Горелов, О.Н. Левчишин, А.А. Шемшурин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: ФБОУ ВПО «Новосиб. гос. акад. вод. трансп.», 2015. С. 189–191.
2. Правила устройства электроустановок, 7-е изд
3. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г.А. Данилов, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов, Г.В. Ситников; под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова. — Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. — 559 с.

УДК 621.311.4

*Манусов В.З.<sup>1</sup>, Иванов Г.В.<sup>2</sup>, Кислицин Е.Ю.<sup>3</sup>, Мамедов А.Н.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

<sup>2 3 4</sup> Сургутский государственный университет, г. Сургут

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

г. Сургут

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы реконструкции польских подстанций типа ST-7, являющихся источником питания электроустановок некоторых объектов нефтегазовой отрасли. Предложено техническое решение по замене устаревшего оборудования ПС типа ST-7 на блочно-модульные подстанции с использованием компактного высоковольтного оборудования «Таврида-Электрик».

**Ключевые слова:** *оборудование подстанций, система электроснабжения объектов нефтегазовой отрасли, распределительное устройство.*

*Manusov V.Z.<sup>1</sup>, Ivanov G.V.<sup>2</sup>, Kislicin E.Y.<sup>3</sup>, Mamedov A.N.<sup>4</sup>*

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

<sup>2 3 4</sup> Surgut state University, Surgut

## IMPROVING THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY TO OIL AND GAS PRODUCTION FACILITIES

Surgut

**Abstract.** The issues of reconstruction of Polish substations of the ST-7 type, which are a power source for electrical installations of some objects of the oil and gas industry, are considered. A technical solution is proposed to replace the outdated equipment of the ST-7 type substation with block-modular substations using compact high-voltage equipment “Tavrida-Electric”.

**Keywords:** *equipment of substations, power supply systems of oil and gas industry facilities, switchgear.*

От надежной и бесперебойной работы систем электроснабжения зависит устойчивая работа всего нефтегазодобывающего комплекса. Электрооборудование некоторых систем электроснабжения объектов нефтегазовой отрасли физически и морально устарело. Например, в эксплуатации управления электросетевого хозяйства многих компаний, относящихся к нефтегазодобывающей отрасли, находятся подстанции типа ST-7. Подстанции типа ST-7 — это польские подстанции, были широко востребованы на нефтяных месторождениях по всему Советскому Союзу. Многие из них давно вышли из строя, а те, что все еще работают, не отвечают требованиям надежности. Ввиду того, что эти подстанции были введены в эксплуатацию в 80-х годах прошлого века, а также закрытия завода изготовителя, для подстанций этого типа длительное время не выпускаются комплектующие и запасные части.

Решения данной проблемы возможно двумя способами: капитальный ремонт или капитальное строительство. С точки зрения экономики более выгодным является вариант с капитальным ремонтом, так как в этом случае отсутствует необходимость в демонтаже имеющегося свайного поля и фундамента, потребуется лишь установить новое оборудование на существующее основание.

Подстанция 35/6 кВ ST-7-35/6-2x4000 кВА состоит из следующих блоков:

- открытое распределительно устройство ОРУ-35 кВ;
- силовые трансформаторы ТМН мощностью 4 МВ·А;
- блок распределительного устройства 6 кВ.

ОРУ-35 кВ включает трехполюсный разъединители наружной установки типа РНДЗ-2-35/1000, вентильные разрядники GZSb-40,5/10 и масляные выключатели типа С-35 с пружинно-моторным приводом. Блоки ОРУ-35 кВ установлены на свайные фундаменты на высоту 1 м от уровня земли.

Распределительное устройство 6 кВ состоит из двух блоков, каждый из которых включает в себя ячейки воздушных отходящих линий и три ячейки кабельных отходящих линий. В блоке РУ-6 кВ установлены трехполюсные масляные выключатели типа WMPWZ-12/06/16 с пружинно-моторным приводом, трансформаторы тока типа АВК-10.

Компенсация реактивной мощности осуществляется блоком конденсаторных батарей 6 кВ. Конденсаторы соединены по схеме треугольник.

Ошиновка подстанции выполняется стальными, медными и алюминиевыми шинами.

Источником оперативного переменного тока является трансформатор собственных нужд типа ТОНб-63/6 со вторичным линейным напряжением 0,23 кВ, подключенный до вводного выключателя 6 кВ.

Защита трансформатора выполнена на оперативном переменном токе с применением реле прямого действия, встроенных в привод выключателя 35 кВ,

а также с использованием энергии предварительно заряженных конденсаторов для отходящих линий 6 кВ выполнена по принципу дешунтирования отключающих катушек привода выключателя.

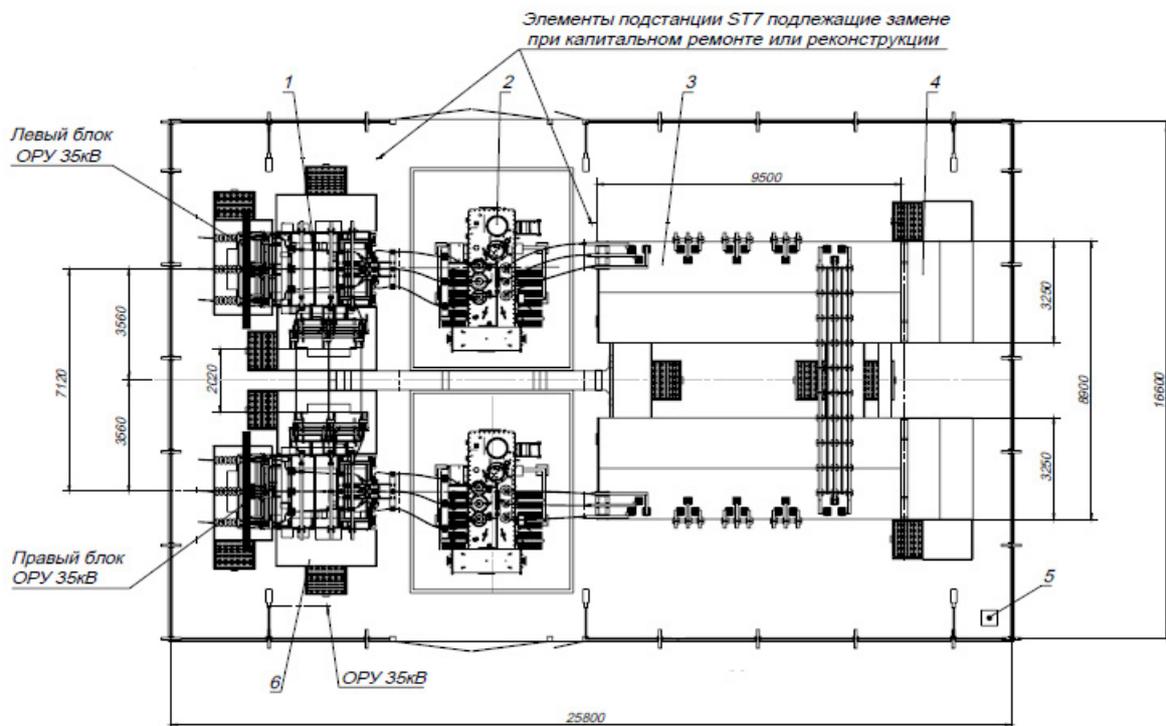


Рисунок 1. Схема ПС 35/6 кВ типа ST-7

Капитальный ремонт ПС типа ST-7 позволяет частично или полностью заменить электрооборудование, отработавшее свой эксплуатационный ресурс на новое максимальной заводской готовности.

Для решения поставленной задачи предлагаются два варианта.

Первый вариант: капитальный ремонт представленной подстанции осуществляется путем замены физически изношенного морального устаревшего оборудования на новое оборудование ОАО «Электрощит», г.Самара.

Техническая подготовка подстанции проводится без замены существующих силовых трансформаторов, с сохранением схемы по стороне 35 и 6 кВ, без увеличения количества отходящих фидеров. Установка комплектного распределительного устройства наружной установки типа КРУН-6(10) кВ осуществляется на существующие свайные основания. В связи с использованием современного оборудования, масса вновь устанавливаемого оборудования меньше существующего, что уменьшает нагрузку на сваи.

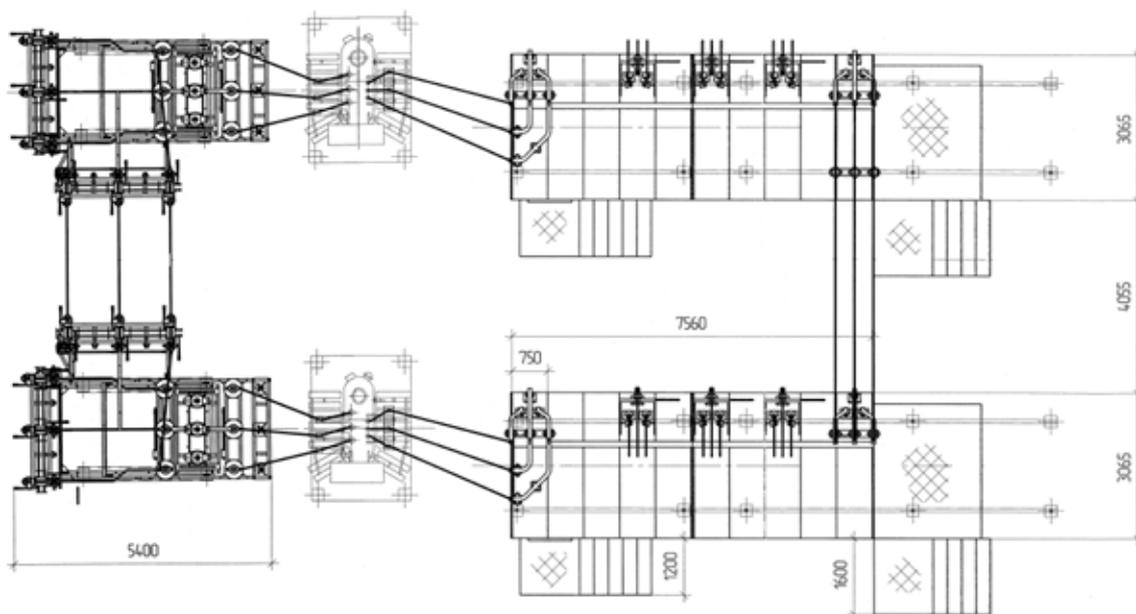
В качестве оборудования предлагается установить:

- по высокой стороне 35 кВ: вакуумные выключатели ВВН-СЭЩ-35, разъединители типа РГП-СЭЩ-35, трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-35 с литой

изоляция, выполненных с применением новейших достижений современной техники высоковольтного оборудования;

- по низкой стороне 6 кВ: хорошо зарекомендовавшие себя в эксплуатации КРУН СЭЩ-59 с выключателями ВВУ-СЭЩ-П-10.

Для управления, защиты и автоматики функциональных групп предлагается использовать микропроцессорные устройства фирмы НПО «Радиус-Автоматика» серии «Сириус».



**Рисунок 2.** Схема ПС 35/6 кВ типа ST-7 с установленным оборудованием компании ОАО «Электроцит», г. Самара

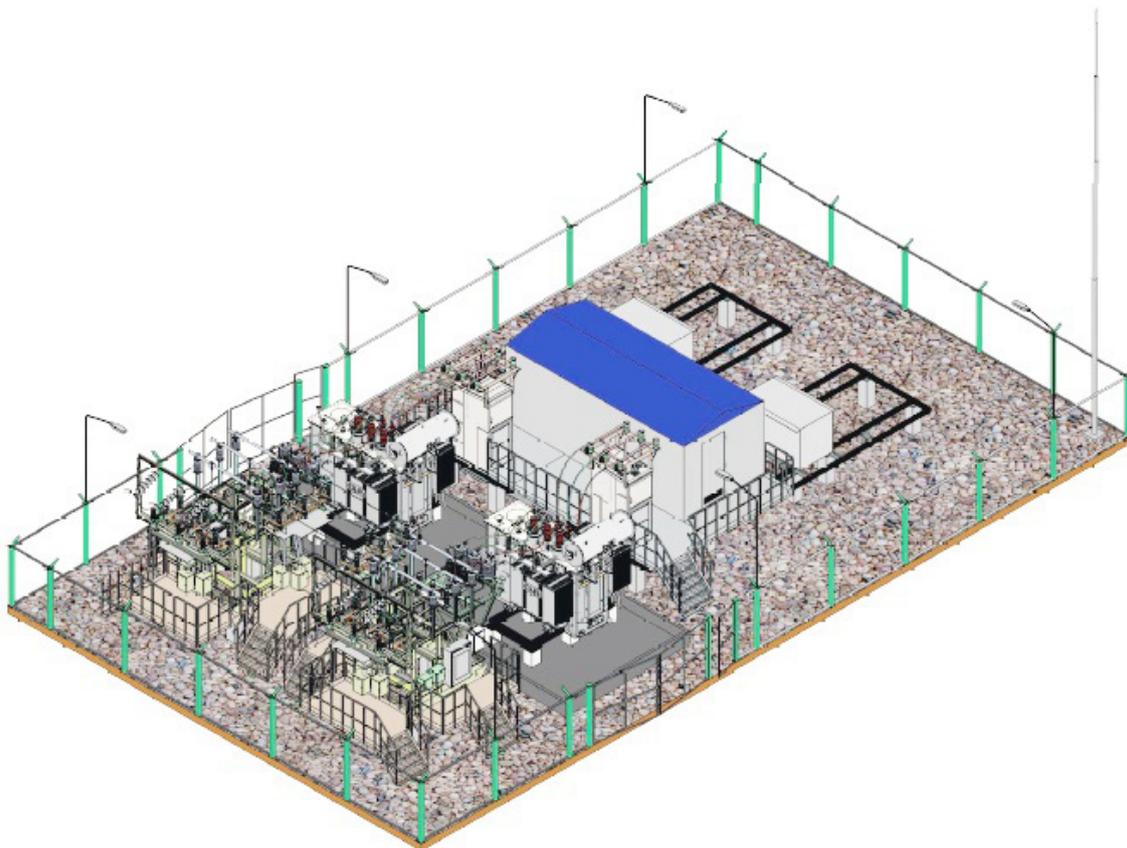
Рассмотрим возможность использования оборудования компании «Таврида Электрик» для реконструкции ПС типа ST-7.

С этой целью применим комплектные трансформаторные подстанции блочно-го типа КТПБ-ТЭО 35/6(10), выпускаемая компанией «Таврида Электрик».

КТПБ-ТЭО 35/6(10) предназначены для эксплуатации в условиях нормированных для исполнения УХЛ, категории размещения 1 по ГОСТ 15150, ГОСТ 15543.1. Условия, которые обеспечивают нормальную работу КТПБ-ТЭО 35/6(10):

- средняя из ежегодных экстремальных максимальных температур окружающего воздуха не выше плюс 40°C (при средней из ежегодных экстремальных среднесуточных температур не выше плюс 38°C) и не ниже средних из ежегодных абсолютных экстремальных минимальных температур минут 60°C (при средней из ежегодных экстремальных среднесуточных минимальных температур минус 55°C);

- абсолютная экстремальная максимальная температура плюс 45°C;
- абсолютная экстремальная минимальная температура минус 70°C;
- максимальный скоростной нормативный напор ветра — 80 кГс/м<sup>2</sup> (800 Н/м<sup>2</sup>) на высоте до 10м от поверхности земли при повторяемости 1 раз в 25 лет;
- нормативная толщина стенки гололеда на высоте 10м над поверхностью земли — 25 мм при повторяемости 1 раз в 25 лет;
- изоляция оборудования блоков ОРУ 35кВ, проходные изоляторы 6(10) кВ предусматривают эксплуатацию КТПБ-ТЭО в районах с II\*(Б) степенью загрязнения по ГОСТ 9920;
- тип атмосферы II по ГОСТ 15150;
- по воздействию механических факторов внешней среды КТПБ-ТЭО должна соответствовать группе условий эксплуатации М1 по ГОСТ 17516.1;
- среда невзрывоопасная, не содержащая взрывоопасной пыли, агрессивных газов и паров, разрушающих металл и изоляцию;
- высота над уровнем моря до 1000м;
- сейсмичность района строительства — до 9 баллов по шкале MSK64 включительно на уровне до 10 м.



**Рисунок 3.** Схема ПС 35/6 кВ типа ST-7 с установленным оборудованием компании «Таврида Электрик»

Также ввиду учёта того факта, что новое оборудование должно устанавливаться на уже имеющееся свайное поле, предлагается использовать оборудование серии «Эталон».

Секции РУ «Эталон» предназначены для построения распределительных устройств напряжением 6–10 кВ в сетях с изолированной или эффективно заземлённой нейтралью. Шкафы, входящие в состав секций, представляют собой новое поколение устройств с интегрированной системой измерений, релейной защиты и автоматики.

Ключевые преимущества секции РУ серии «Эталон»:

- малые габариты и масса;
- возможность расположения РУ на существующее свайное поле в ряд;
- отсутствие ячейки ТН-6 кВ;
- отсутствие межсекционной перемычки 6 кВ;
- отсутствие необходимости обслуживания выкатных ячеек и выключателей 6 кВ;
- простота и высокая скорость монтажа на объекте;
- система идентификации однофазных замыканий на землю;
- удобство эксплуатации;
- система проверки силовых кабелей высоким напряжением, не требующая их отключения от ячейки.

Шкафы КРУ, входящие в состав секций, выполнены в металлической оболочке и имеют разделенные отсеки, позволяющие ограничить распространение повреждения при дуговом замыкании за рамки одного отсека. Каждый высоковольтный отсек шкафа снабжен клапанами аварийного сброса давления и датчиками защиты от дуговых замыканий с действием на отключение соответствующего коммутационного аппарата. Узел стыковки по сборным шинам позволяет оперативно выполнять соединение шкафов друг с другом. Любой шкаф секции может стать как проходным, так и тупиковым. В последнем случае используются изоляционные заглушки, обеспечивающие требуемую электрическую прочность изоляции.

В шкафах КРУ приняты меры, предотвращающие воздействие открытой дуги на элементы цепей вторичной коммутации, включая датчики и соединительные провода, расположенные в силовых отсеках шкафов.

Распределительные устройства на базе шкафов КРУ серии «Эталон» строятся посекционно в соответствии со схемой секционирования № 10(6)-1 «с присоединением вводов к обеим секциям» — по определению СТО 56947007-29.240.30.010-2008 ФСК ЕЭС. В состав каждой секции входят шкаф основного ввода (ОВ), шкаф резервного ввода (РВ), а также отходящие линии в количестве не более 16. Шкафы иного назначения в составе распределительного устройства не применяются.



**Рисунок 4.** Устройство Секции РУ «Эталон»:

1 — модуль управления; 2 — панель управления; 3 — блокирующая рукоятка модуля высоковольтного; 4 — модуль высоковольтный; 5 — изоляторы подвижных контактов селектора; 6 — сборные шины; 7 — проходной изолятор со встроенным комбинированным датчиком тока и напряжения; 8 — кабельный приемник; 9 — кабельные фиксаторы.

Каждый шкаф серии «Эталон» с силовым выключателем комплектуется набором из трех комбинированных датчиков тока и напряжения (КДТН), расположенных в проходных изоляторах между отсеком модуля высоковольтного и кабельным отсеком. Каждый КДТН включает в себя емкостный датчик напряжения, обмотку трансформатора токов нулевой последовательности, датчик тока (катушку Роговского). Емкостный датчик напряжения, трансформатор тока нулевой последовательности и датчик тока применяются для передачи измерительной информации в модуль управления, который использует ее для целей организации защит, автоматики и учета электроэнергии. В комбинированных датчиках тока и напряжения используется датчик тока нулевой последовательности, основанный на принципе трехтрансформаторного фильтра, который позволяет с высокой точностью измерять ток нулевой последовательности.

Сравним капитальные затраты, необходимые для осуществления реконструкции ПС типа ST-7 с использованием оборудования различных производителей.

**Таблица 1.** Стоимость оборудования и материалов, поставляемых  
ОАО «Электроцит», г. Самара

№ п.п.	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Цена за ед., руб.	Общая стоимость, руб.
1	2	3	4	5	6
<b>Оборудование ОРУ 35 кВ</b>					
1	Выключатель ВР35НТ-35-25/1600-3/0 УХЛ1	шт.	2	1 384 130	2768 260,00
2	Ограничитель ОПНп 35/550/40,5-10 IV УХЛ1	шт.	6	13 183,5	79 101,00
3	Ограничитель ОПНп-6/550/7,2УХЛ1	шт.	6	2 019,95	12 119,70
4	Разъединитель РГПЗ-СЭЩ-16-IV-35/1000	шт.	2	153131,00	306 262,00
5	Разъединитель РГПЗ-СЭЩ-2-IV-35/1000	шт.	2	170 412	340 824,00
6	Кабель силовой ВВГнг(А)-ХЛ 4х6	м	148,0	188,68	27 924,64
7	Кабель силовой ВВГнг(А)-ХЛ 3х4-1,0	м	66,0	98,76	6 518,16
8	Прожектор светодиодный ПС-3	шт.	4	8 427,42	33 709,68
9	Металлоконструкции				640 137,5
	Итого по ОРУ 35 кВ				4214 856,68
<b>КРУН 6 кВ</b>					
1	Ячейка К-59ХЛ з/з	шт.	20	1285855,4	25717108,8
2	Релейный шкаф защиты и управления	шт.	26	407100,0	10584600,0
3	Аппаратные зажимы А2А-240	шт.	12	295,00	3 540,00
4	Кабель КВВГЭнг(А)-LS 14х1,5	м	130	94,31	12 260,30
5	Кабель КВВГЭнг(А)-LS 10х1,5	м	171	72,76	12 441,96
6	Кабель КВВГЭнг(А)-LS 7х1,5	м	146	54,01	16 623,90
7	Кабель контрольный КВВГЭнг(А)-LS 5х2,5	м	282	58,95	3 782,62
8	Кабель силовой ВВГнг(А) 3х2,5	м	62	61,01	311,52
9	Кабель КВВГЭнг(А)-LS 4х1,5	м	8	38,94	238,02
10	Кабель контрольный КВВГнг(А)-LS 4х2,5	м	6	39,67	278,10
11	Металлоконструкции				294239,78
	Итого по КРУН 6 кВ				36630425,0
	Общая стоимость оборудования и материалов				40845280,0

**Таблица 2.** Стоимость оборудования и материалов, поставляемых группой компаний  
«Таврида Электрик»

№ п.п.	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Общая стоимость, руб.
	Оборудование ОРУ 35 кВ			
1	Реклоузер TER_Rec35_Smart1 в составе: — коммутационный модуль OSM_Smart_1 (s) — 1 шт.; — шкаф управления реклоузером TER RecUnir_RC7 с комплектом для выноса панели управления в ОПУ — 1 шт.; — соединительное устройство TER RecUnit (14) — 1 шт.;	шт.	2	7895836,0

	— ограничитель перенапряжения нелинейный ОПН-РК — 6 шт.; — монтажный комплект для установки реклоузера на существующую раму TERM_RecMount Rec45_Sub1 — 1 шт.; — конвертор МОХА ТСС-100I-T — 1 шт.			
2	Комплект металлоконструкций для установки силового оборудования (выключатель, трансформаторы тока) на существующий блок заводской готовности	комп.	2	
3	Трансформаторы тока ТОЛ-35 150/5 0,5s/10P/10P	шт.	6	
4	Шкаф клеммный ШЗВ-200	шт.	2	
5	Комплект жесткой и гибкой ошиновки ОРУ 35 кВ включая токопроводы до силового трансформатора включая опорные изоляторы и зажимы	комп.	1	
6	Разъединители РГПЗ-2-35/1000	шт.	4	
	КРУН 6 кВ			
1	Модульное здание типа СКР 7200x3200 мм ДxШ	шт.	1	
2	Секции КРУ — 6 кВ TER Sec10 Etalon 1	комп.	2	
3	Ячейка ТСН наружной установки ТСН 6/0,4 40 кВА, ТОЛ-10 1000/5, ОПН	шт.	2	
4	Ошиновка ОРУ 6 кВ	комп.	1	
5	Шкаф управления оперативным током РСПТ-М2x60 220 (60 а*ч) с аккумуляторными батареями	шт.	1	
6	Шкаф управления выключателем 35 кВ и защит трансформатора	шт.	1	25784040,0
7	Шкаф ЦС и ОБ	шт.	1	
8	Шкаф ТМ	шт.	1	
9	Шкаф КУЭ	шт.	1	
10	Шкаф РУСН	шт.	1	
11	Шкаф ШСН	шт.	1	
12	Кабельная продукция для вторичных цепей	комп.	1	
	Общая стоимость оборудования и материалов			33679776,0

Из данных представленных таблиц следует, что стоимость оборудования и материалов, поставляемых «Таврида Электрик» обойдется дешевле на 7165504,0 руб.

### Заключение

Внедрение вышеизложенного предложения по применению блочно-модульных подстанций с использованием компактного высоковольтного оборудования «Таврида-Электрик» при реконструкции ПС 35/6 кВ типа ST-7, являющихся источником питания электроустановок некоторых объектов нефтегазового комплекса, обеспечит бесперебойную передачу электроэнергии на объекты нефтегазодобычи, увеличит срок службы и повысит надежность эксплуатируемого

оборудования, а также обеспечит безопасные условия труда для обслуживающего персонала. Кроме этого, использование данного предложения является экономически выгодным по отношению к другим подобным решениям.

### Список литературы

1. ТАВРИДА ЭЛЕКТРИК: Международный электротехнический холдинг: [сайт]. — URL: <https://www.tavrida.com> (дата обращения: 10.03.2021). — Текст: электронный;
2. ЭЛЕКТРОЩИТ САМАРА: Производственная компания электротехнического оборудования 0,4-220 кВ: [сайт]. — URL: <https://www.electroshield.ru> (дата обращения: 10.03.2021). — Текст: электронный.

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

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ГОРОДА И РАЙОНА ЗА СЧЕТ ПЕРЕВОДА СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 6–10 кВ НА 20 кВ

г. Сургут

**Аннотация.** Рассмотрен метод повышения энергоэффективности городской и районной распределительной электрической сети, за счет внедрения в систему электроснабжения среднего напряжения 20 кВ. Проведен сравнительный анализ между электроснабжением города в целом, использующим единое среднее напряжение 20 кВ, и города с традиционной сетью 6–10 кВ. Применение напряжения 20 кВ позволяет значительно снизить потери электроэнергии, однако переход существующих электрических сетей не целесообразен с экономической точки зрения, если это не сети, требующие капитального ремонта и реконструкции. В связи с этим важен этап четкого планирования по внедрению в электрическую сеть номинального напряжения 20 кВ, а для каждого региона должна соблюдаться индивидуальная концепция. Главными положительными сторонами применения среднего напряжения 20 кВ являются снижение потерь, снижение уровня токов короткого замыкания, покрытие номинальной мощности на большей площади, увеличение пропускной способности линий.

**Ключевые слова:** *распределительная сеть, энергоэффективность, нагрузочные потери электрической энергии, целесообразность и экономическая обоснованность, перспективы внедрения напряжения 20 кВ, реконструкция сетей, 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

## IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE DISTRIBUTION NETWORKS OF THE CITY AND DISTRICT BY SWITCHING THE AVERAGE VOLTAGE OF 6–10 kV TO 20 kV

Surgut

**Аннотация.** The method of increasing the energy efficiency of the city and district distribution grid, due to the introduction of an average voltage of 20 kV in the power supply system, is considered. A comparative analysis is made between the power supply of the city as a whole, using a single average voltage of 20 kV, and the city with a traditional network of 6–10 kV. The use of a voltage of 20 kV can significantly reduce the loss of electricity, but the transition of existing electrical networks is not feasible from an economic point of view, if these are not networks that require major repairs and reconstruction. In this regard, the stage of clear planning for the introduction of a rated voltage of 20 kV into the electric network is important, and an individual concept must be observed for each region. The main positive aspects of the application of the average voltage of 20 kV are the reduction of losses, the reduction of the level of short-circuit currents, the coverage of the rated power over a larger area, and the increase in the capacity of the lines.

**Keywords:** *distribution network, energy efficiency, load losses of electric energy, feasibility and economic feasibility, prospects for the introduction of 20 kV voltage, network reconstruction, throughput capacity.*

На сегодняшний момент в распределительных сетях большинства городов и предприятий используется напряжение 6–10 и 35 кВ, что обусловлено историей развития городских сетей со времен электрификации СССР. Ныне задачи по решению проблем повышения качества, увеличения пропускной способности и уменьшения потерь электрической энергии при электроснабжении потребителей городов и районов ложатся на плечи владельцев данных сетей, т.е. различных сетевых компаний. Нужно понимать, что крупные города с их агломерациями являются лидерами по потреблению электрической энергии, и более всего нуждаются в увеличении энергоэффективности за счет уменьшения потерь и увеличения пропускной способности линий электропередач.

С начала 2007–2008 годов по сей день в электроэнергетических системах Российской Федерации ведется активная работа по массовой реконструкции и модернизации, однако достаточное количество электрооборудования все еще имеет высокую степень физической изношенности (возраст оборудования может достигать 50 лет и выше). Линии электропередач обладают высокими

потерями (потери в некоторых линиях достигают 16%). Часто возникает технический предел использования существующих сетей в связи с возросшей нагрузкой, а для покрытия электрической энергией новых потребителей сооружают новые параллельные линии. В связи с этим распределительные электрические сети нуждаются как в ресурсах, так и в капиталовложениях. Однако не имеет смысла тратить ресурсы на капитальный ремонт заранее неэффективных распределительных сетей со всеми вытекающими их параметрами, а наиболее выгодно проводить целевую реконструкцию сети для удовлетворения сложившихся и прогнозируемых нужд потребителя.

Говоря о снижении потерь электрической энергии в распределительных сетях, предлагается концепция двухступенчатой системы электроснабжения: применение номинального напряжения 20 кВ вместо традиционных 6 кВ и 10 кВ.

Распределительные сети напряжением 20 кВ для российской электроэнергетики за последние десять лет уже не воспринимаются как нечто новое, однако и не являются массово внедряемым явлением. Возрастающая нагрузка в крупных городах и нарастающий разброс удаленных потребителей наводит на спрос новаторских проектов по переводу систем электроснабжения 6-10 кВ на 20кВ. Конечно, в каждом регионе нужна собственная концепция развития сетей 20 кВ, соответствующая особенностям инфраструктуры, потребителей и резервов мощностей.

Целью представленной работы является исследование количественного показателя влияния перевода номинального напряжения 6-10 кВ на 20 кВ в распределительной электрической сети на снижение потерь электрической энергии и влияния на энергоэффективность при повсеместном переводе на напряжение 20 кВ крупных потребителей энергосистемы в целом.

Нагрузка на распределительные сети ежегодно возрастает, а это значит, что растет величина потерь электрической энергии. Потеря мощности является важной экономической характеристикой для электросетевых компаний. Рассматривая вопрос потерь активной мощности и отклонения напряжения, можно составить примерный прогноз развития событий в сетях напряжением ниже 35 кВ. Прогнозируемый уровень потерь мощности представлен в таблице 1.

**Таблица 1.** Прогнозируемый уровень потерь мощности в электрических сетях 6; 10 и 20 кВ

	6 кВ	10 кВ	20 кВ
Потери мощности в 2015 г., %	2,3	3,52	0,05
Потери мощности в 2020 г., %	2,85	3,86	0,12

Потери мощности в 2025 г., %	3,32	4,35	0,13
Потери мощности в 2030 г., %	3,45	4,65	0,13

Из данных таблицы 1 можно сделать вывод, что наибольшие потери мощности ожидаются в сети 10 кВ, что обуславливается ее значительной загрузкой. Взгляд на перспективу до 2030 г. указывает, что от сетевых компаний требуется разработка новых программ по оптимизации и снижению потерь электрической энергии.

С целью определения усредненного значения погонных потерь электрической энергии кВт·ч/год в распределительной сети города и района при различных классах напряжения была составлена модель участка распределительной сети. Схема участка сети, для которого был проведен расчет потерь, показана на рисунке 1. Моделируемый участок сети содержит трансформаторную подстанцию (ТП) с трансформатором мощностью 1000 кВ·А (6/0,4; 10/0,4 и 20/0,4 кВ), получающую питание от главной понизительной подстанции (ГПП) (соответственно, ГПП 110/6; 110/10 и ГПП 110/20 кВ), и линию электропередачи (воздушную, кабельную). Для воздушной линии электропередачи были выбраны наиболее часто используемые провода марки АС, в качестве кабельной линии принят кабель марки АПВБП. Нагрузочные потери электроэнергии в линии определены методом средних нагрузок по формулам,  $k_3$  — коэффициент загрузки трансформатора примем равным 0,65:

$$\Delta W = k_k \cdot \Delta P_{cp} \cdot T_i \cdot k_\phi^2; \quad (1)$$

$$\Delta P_{cp} = 3 \cdot I_{cp}^2 \cdot R \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где  $k_k$  — коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки различных ветвей сети,  $k_k=1,02$  для сети 6-20 кВ;

$k_\phi$  — коэффициент формы графика суммарной нагрузки сети за расчетный интервал, принимаем равным 1,33.

Результаты расчетов приведены в таблицах 2 и 3.

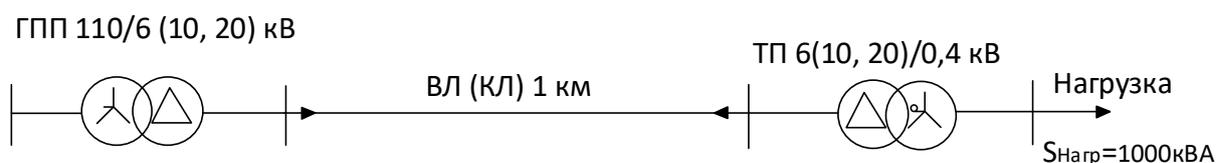


Рисунок 1. Схема участка распределительной сети

**Таблица 2.** Нагрузочные потери в линии электропередачи из сталеалюминевых проводов и кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена 6; 10 и 20 кВ

Сечение провода / жилы кабеля, мм <sup>2</sup>	Нагрузочные потери в линии электропередачи, кВт·ч/год		
	6 кВ	10 кВ	20 кВ
<b>Сталеалюминевый провод марки АС</b>			
95	97 425,0	35 124,0	6608,0
185	53 141,0	18 094,0	3604,0
240	38 967,0	14 049,0	2643,0
<b>Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвПБ</b>			
150	59 046,0	21 287,0	4005,0
185	50 236,0	17 030,0	3204,0
240	35 427,0	13 572,0	2403,0

Используя полученные погонные потери кВт·ч/год на 1 км линии при нагрузке 1000 кВ·А, найдем усредненные значения потерь в конкретной взятой распределительной сети АО «Энерго» города Сургута в Ханты-Мансийском автономном округе. Затем проведем статистическую параллель между потерями при напряжении 6-10 кВ и среднем напряжении 20 кВ.

**Таблица 3.** Потери электрической энергии, приведенные к общему объему электрической энергии, передаваемой по сети, %

Сечение питающей линии, мм <sup>2</sup>	Класс напряжения, тип линии					
	6 кВ		10 кВ		20 кВ	
	Воздушная линия (АС)	Кабельная линия (АПвПБ)	Воздушная линия (АС)	Кабельная линия (АПвПБ)	Воздушная линия (АС)	Кабельная линия (АПвПБ)
95	1,7		0,61		0,11	
150	-	1,04		0,4		0,07
185	0,93	0,89	0,32	0,29	0,06	0,05
240	0,68	0,62	0,24	0,23	0,04	0,04

Известно, что в городской сети на балансе содержатся КЛ 6 кВ общей протяженностью 133 км, КЛ 10кВ — 840 км, ВЛ 6кВ — 30 км, ВЛ 10кВ — 97 км. Большая часть (90%) ВЛ выполнены проводом марки АС-95, 60% от общей протяженности кабельных линий (КЛ) соответствуют сечению жилы 3х240 мм<sup>2</sup>, 30% КЛ — 3х185 мм<sup>2</sup> и 10% КЛ соответствуют иному значению. Определим потери электрической мощности в распределительных сетях г.Сургута

$$\Delta W = \Delta W' \cdot L \cdot \delta, \quad (3)$$

где  $\Delta W$  — нагрузочные потери в линии, кВт·ч/год;

$\Delta W'$  — удельные потери кВт·ч/год на 1 км при нагрузке 1000 кВт·А исследуемого класса напряжения и сечении проводника (данные таблицы 3);

$L$  — протяженность линии электропередачи соответствующего класса напряжения, км;

$\delta$  — процентный показатель количества КЛ и ВЛ соответствующих расчетному сечению проводника.

Результаты расчета представлены в таблице 4.

**Таблица 4.** Результаты расчета потерь электрической мощности в распределительных сетях г. Сургута

Сечение провода / жилы кабеля, мм <sup>2</sup>	Нагрузочные потери в линии электропередачи, кВт·ч/год		
	6 кВ	10 кВ	переход на 20 кВ
<b>Сталеалюминевый провод марки АС</b>			
95	2 922 750,0	3 407 028,0	839 216,0
<b>Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвБП</b>			
150	59 046,0	21 287,0	389 686,0
185	50 236,0	17 030,0	935 248,0
240	2 827 075,0	1 083 046,0	1 402 871,0
<b>Суммарные потери электрической энергии в линиях электропередач, кВт·ч/год</b>			
6-10 кВ			20 кВ
10 387 498,0			3 567 020,0

Передаваемый объем электрической энергии распределительными сетями АО «Энерго» составляет: зимой 330 МВт·ч/год и летом 170 МВт·ч/год. Соответственно, потери электрической энергии в рассматриваемых сетях при напряжении 6-10 кВ составят 3,5 %, а после перехода на напряжение 20кВ — до 0,9 %.

Таким образом, в представленной работе на примере города Сургута, с населением по официальным данным на 2020 г. 380 632 чел., была произведена оценка энергоэффективности распределительной электрической сети: при полной ликвидации сетей 6-10 кВ в пользу сетей 20 кВ экономия электрической энергии составляет минимум 7 МВт·ч/год, что равносильно потреблению торгово-развлекательного центра (ТРЦ) площадью 100 000 м<sup>2</sup> (город обладает лишь несколькими подобными ТРЦ). Если обратить внимание на тот факт, что рассматриваемый город относительно мал, то применение среднего напряжения 20 кВ больших городов дает более ощутимую экономию.

Перевод распределительных сетей на напряжение 20 кВ целесообразен в следующих случаях:

- в городах с высокой плотностью электрических нагрузок (плотность электрических нагрузок свыше 10 МВт/км<sup>2</sup>);
- при проектировании новых электрических сетей и реконструкции существующих сетей и подстанций;
- для электроснабжения новых строящихся жилых районов города;
- при реконструкции с целью ликвидации распределительных сетей 6 кВ;
- для электроснабжения удаленных потребителей (сел, поселков, нефтяных месторождений) от центров питания 110 кВ;
- для разгрузки распределительных устройств 6–10 кВ существующих подстанций и устранения дефицита мощности в центрах питания;
- с целью уменьшения общей протяженности электрических сетей класса 0,4 кВ при электроснабжении поселков и кооперативов, крупных сел с развитой агропромышленностью.

Задачу перевода электрической распределительной сети городов и районов Российской Федерации на номинальное напряжение 20 кВ можно отнести к списку задач в электроэнергетике, которые нацелены на решение проблем энергоэффективности энергосистемы страны. Актуальность складывается из технико-экономической обоснованности и прогнозируемых результатов внедрения, в связи с этим данная задача имеет большой временной период по ее реализации.

Применение напряжения 20 кВ в распределительных сетях Российской Федерации позволит перейти на более высокий уровень по качеству электроснабжения потребителей, существенно увеличить пропускную способность распределительной сети в районах с высокой плотностью электрических нагрузок на 1 км<sup>2</sup>, уменьшить технологические потери, даст возможность покрыть требуемой нагрузкой развитие агропромышленности и удаленных потребителей сельской местности и районов города. Среднее напряжение 20 кВ из опыта других стран Италии, Финляндии, Австрии, США и Франции, активно эксплуатирующих данные распределительные сети, является наиболее выгодным вариантом для удовлетворения всех параметров распределительной разветвленной электрической сети городов и селений и является фактором энергоэффективности данной сети близкой к максимальному своему значению.

### Список литературы

1. Лоскутов А.Б. Новый подход к построению электрических распределительных сетей России / А.Б. Лоскутов, Е.Н. Соснина, А.А. Лоскутов. — Текст: непосредственный // Вестник Белгородского государственного

- технологического университета им. В. Г. Шухова. — 2011. — № 3. — С. 147–151.
2. Иванов М. Н. Перспективы применения напряжения 20 кВ в Москве // Портал ИнтерЭнерго. 2011. [Электронный ресурс]. URL: <http://interenergo.info> (дата обращения 22.03.2021).
  3. Буре И.Г. Повышение напряжения до 20...25 кВ и качество электроэнергии в распределительных сетях / И.Г. Буре, А.В. Гусев // Электро — 2005. — № 5. — С. 30–32.
  4. СТО 70238424.29.240.10.009–2011. Распределительные электрические сети. Подстанции 6–20/0,4 кВ. Условия создания. Нормы и требования: введ. 30.06.2011. — М.: НП «ИНВЭЛ», 2011. — 20 с. — Текст : непосредственный.
  5. Маслов А.Н. Проблемы и особенности построения распределительных сетей крупных городов и мегаполисов / А.Н. Маслов А.С. Свистунов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.ruscable.ru/print.html?p=/article/Problemy\\_i\\_osobennosti\\_postroeniya/](http://www.ruscable.ru/print.html?p=/article/Problemy_i_osobennosti_postroeniya/) (дата обращения: 30.03.2021).
  6. Черепанов В. В. Повышение эффективности транспортировки и распределения электрической энергии в кабельных линиях путем применения напряжения 20 кВ / В. В. Черепанов, И. А. Суворова // Электрика. — 2012. — № 7. — С. 27–30.
  7. Тодирка С. В большом мегаполисе за сетями 20 кВ — будущее / С. Тодирка // Энергоэксперт. — 2010. — № 5. — С. 56–58.
  8. Плетнев Л. А. Электросеть для мегаполиса // Новости электротехники: информационно-справочное издание 2004. № 3 (27) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2004/27/09> (дата обращения 03.04.2021).

УДК 537.22

*Жураев М.Р., Евдокимов А.А.*

Сургутский Государственный Университет, г. Сургут

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ВЕТРОСИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ В АВТОНОМНЫХ УСЛОВИЯХ РАБОТЫ

г. Сургут

**Аннотация.** В статье приведен анализ потребителей электрической энергии удаленных районов, не имеющих возможности подключения к Единой Энергетической Системе России, и предложен вариант осуществления электрообеспечения с применением альтернативных источников энергии совместно с генераторами на горючем топливе для снижения стоимости энергии и пагубного воздействия на экологию. Исследованы современные электрические генераторы малой мощности, выявлены конструктивные недостатки, влияющие на эффективную выработку эклектического тока, и рассмотрена оптимальная конструкция тихоходного генератора.

**Ключевые слова:** удаленный потребитель электроэнергии, ветровая электрическая установка, тихоходный генератор, постоянные магниты, печатная плата.

*Zhuraev M.R. Evdokimov A.A.*

Surgut State University, Surgut

## RESEARCH OF THE PROCESS OF ELECTRIC ENERGY GENERATION BY WIND POWER PLANTS IN AUTONOMOUS WORKING CONDITIONS

Surgut

**Abstract.** The article provides an analysis of consumers of electrical energy in remote areas that do not have the ability to connect to the Unified Energy System of Russia, and an option for the implementation of power supply using alternative

energy sources in conjunction with generators on combustible fuels to reduce the cost of energy and decrease adversely affect the environment. Modern low-power electric generators are investigated, design flaws affecting the effective generation of eclectic current are identified, and the optimal design of a low-speed generator is considered

**Keywords:** *remote consumer of electricity, wind power plant, low-speed generator, permanent magnets, printed circuit board.*

Практически во всех странах мира в последнее время наращивается выработка электрической и тепловой энергии с применением возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Связанно это в первую очередь с постоянным удорожанием и истощением полезных ископаемых и энергоресурсов для использования в традиционной энергетике. На ряду с этим не обходят вниманием обострившуюся экологическую ситуацию в мире, а также необходимость надежного и эффективного снабжение электроэнергией отдаленных, труднодоступных и специфических потребителей. Данное направление предусматривает активное развитие и в Российской Федерации. В настоящее время государственная политика нашей страны в сфере энергетике планирует рост использования ВИЭ с 1,3% в 2015 г. до 6,5% уже в 2025 г.

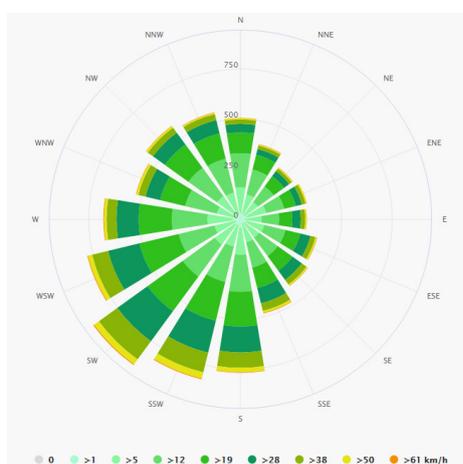
На территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры возобновляемые источники энергии используются для снабжения электрической энергией удаленных и малонаселенных пунктов, а также в заповедных районах и охотничьих угодьях, где отсутствуют возможности эффективной выработки электрической энергии традиционными методами или доставки, с помощью линий электропередач. В среднем нагрузка таких потребителей составляет 50-100 кВт, а принимая во внимание труднопроходимую местность округа, большую площадь которого занимают болота озера и реки, присоединение к Единой Энергетической Системе может оказаться весьма затруднительным и затратным.

Число населенных пунктов, питающихся от автономных электростанций, составляет около 23 поселений. К примеру, электроснабжение поселка Таурова с населением 43 человека в Сургутском районе осуществляется изолированно от Единой энергетической системы России от дизельной электростанции, с тремя установленными генераторами суммарной мощностью 62 кВт, к которой доставка горючего летом происходит по реке вплавь или вертолетом, а зимой по дорогам, возникающим вследствие низких температур. Удаленность от ближайшей точки подключения к Единой Энергетической Системе составляет около 50 километров местности со сложным рельефом. В таблице 1 приведена информация о фактическом потреблении электроэнергии и мощности в поселке Таурова за 2015-2019 гг.

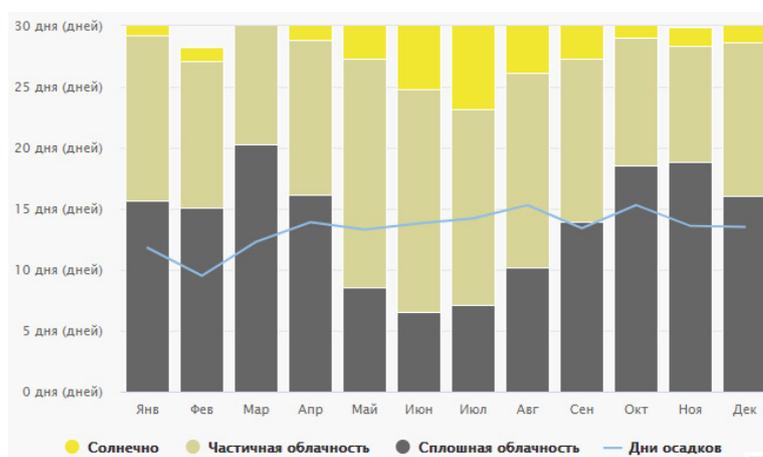
**Таблица 1.** Данные о фактическом потреблении электрической энергии и мощности

Показатель	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Потребленная электроэнергия на собственные нужды, кВт·ч	60	60	60	206	12
Мощность в период максимальных нагрузок, кВт	13	24	25	25	25

Роза ветров данного района (рисунок 1) показывает, что средняя скорость ветра в год составляет примерно 5м/с. Наиболее частое направление его потоков — северо-восток. Годовой график солнечных дней (рисунок 2) информирует о том, что их безоблачное количество достигает максимального среднего значения в июле.



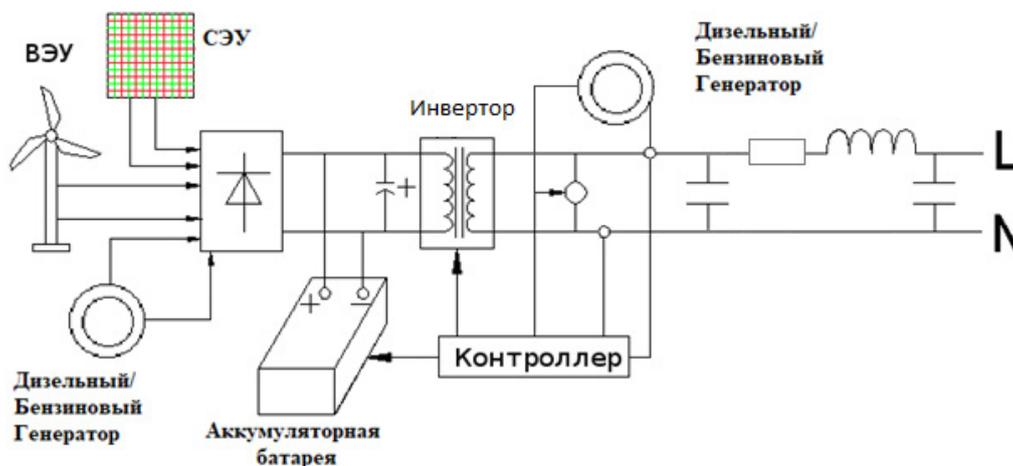
**Рисунок 1.** Роза ветров ХМАО-Югры



**Рисунок 2.** Годовой график солнечных дней в ХМАО-Югре

Анализируя выше представленные данные, можно предложить установку ветрогенератора и тем самым обеспечить частичное электроснабжение населенного пункта возобновляемой энергией.

Как правило, в состав системы электроснабжения с применением возобновляемых источников энергии входит: одна или несколько ветровых электрических установок (ВЭУ) или солнечных электрических установок (СЭУ) единичной мощностью от 5 до 50 кВт, аккумуляторная батарея, выпрямитель, инвертор, бензиновый или дизельный генератор, система управления, обеспечивающая параллельную работу элементов генерации электроэнергии. На сегодняшний день основные схемы организации электрической сети устроены так, что применяют возобновляемые источники энергии для накопления энергии и её выдачи в сеть, либо для прямого подключения к сети потребителя без дополнительных затрат на аккумулирующие устройства.



**Рисунок 3.** Вариант организации системы электроснабжения с применением ВИЭ для выработки и накопления электрической энергии

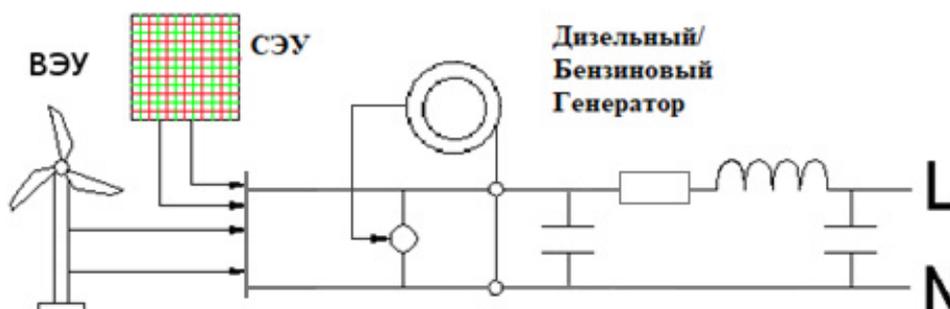
Принцип работы схемы (рисунок 3) заключается в совместной работе ветровых и солнечных электроустановок с генератором, работающем на горючем топливе. При благоприятных климатических условиях установки вырабатывают электрическую энергию, которая преобразуется из переменного электрического тока в постоянный, с помощью выпрямительного диодного моста. Необходимость преобразования заключается в возможности накопления энергии в аккумуляторных батареях, о необходимости подзарядки которых сообщает контроллер. После чего электричество проходит через инвертор и преобразуется в переменный электрический ток с необходимым значением напряжения и отправляется к потребителю. Если погодные условия неблагоприятные или ВИЭ не справляются с нагрузкой, то имеется возможность ввести в работу дизельный/бензиновый генератор как для накопления электричества, так и для непосредственной выдачи энергии в сеть.

Предложенный вариант является далеко не единственным, однако одним из самых надежных. Так, например, можно убрать из схемы выпрямитель, аккумуляторные батареи и контроллер, а вырабатываемую ветровыми и солнечными установками энергию отправлять напрямую в сеть (рисунок 4). Это незначительно понизит стоимость реализации системы, однако, значительно уменьшит надежность.

Для сохранения возможности резервирования, вышеупомянутого способа организации сети, необходимо будет предусмотреть работу дизельный/бензиновый генератор, но стоит заметить, что простоя в этом случае не удастся избежать, так как на запуск генератора понадобится время.

В настоящее время существует большое количество типов синхронных электрических генераторов, отличающихся по типу возбуждения, конструктивному

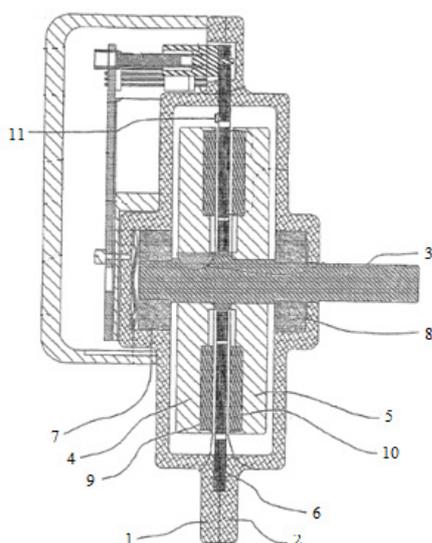
исполнению, применяемым материалам и т.д. В условиях работы на первое место выходят такие параметры как удельная мощность и надежность. В литературе широко рассмотрены вопросы синхронных машин, как с электромагнитным возбуждением, так и с возбуждением от постоянных магнитов.



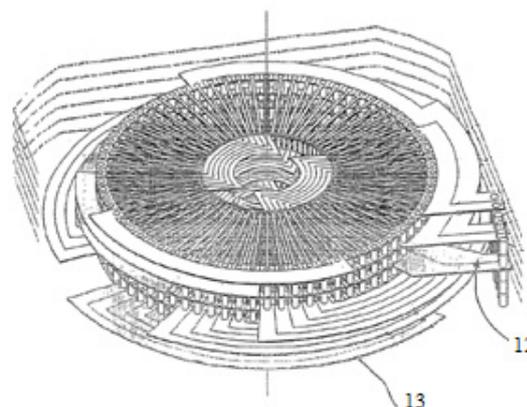
**Рисунок 4.** Вариант организации системы электроснабжения с применением ВИЭ

Проведя анализ существующих установок наиболее близким к разрабатываемому электрическому генератору по технической сущности, относятся:

Ротационная электрическая машина, разработанная коллективом компании SK «Innovation» в составе Джор Мэтью Б., и Джор Линкольн М. (рисунок 5 и рисунок 6), патент на изобретение РФ № 2294588 [1].



**Рисунок 5.** Вид ротационной электрической машины с аксиальным полем в поперечном сечении



**Рисунок 6.** Статор ротационной электрической машины с аксиальным полем

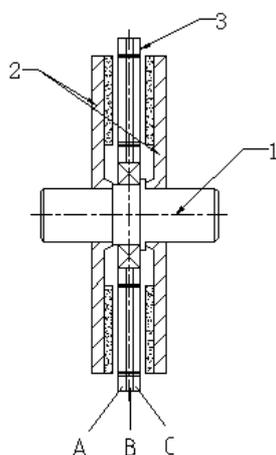
Электрическая машина состоит из основания двух корпусов (1) (2), приводного вала (3), двух роторов (4) (5), статора (6), двух подшипников (7) (8), двух аксиально намагниченных постоянных магнитов (9) (10), датчиков Холла (11).

Вспомогательного оборудования, датчиков, пульта управления, блока управления, соединительные клеим и т.д. Ротор электрической машины выполнен из печатных плат (12) (13). Статор выполнен посредством укладывания в стопку нескольких печатных плат.

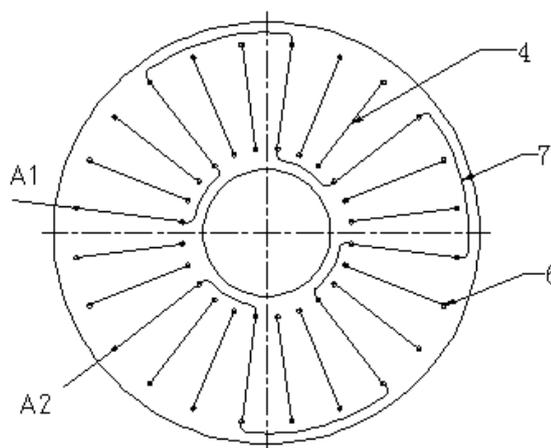
Принцип работы ротационной электрической машины с аксиальным полем заключается в том, что магниты создают между собой интенсивный магнитный поток, а роторы обеспечивают его концентрацию в статоре. При вращении роторов в проводниковой части будет индуцироваться электрический ток и при надлежащей подаче энергии к рабочей секции статора электрическую машину можно использовать в качестве генератора как постоянного, так и переменного тока.

Недостатком ротационной электрической машины с аксиальным полем является, затрудняется система охлаждения якорной обмотки, это обуславливается расположением ее в замкнутом пространстве внутренней части статора

Авторский коллектив компании Tengda Electric Technology Zhenjiang в составе Хуан Пинлинь и Рао Зифан разработали двигатель дискового типа с печатной платой (рисунок 7 и рисунок 8), патент на изобретение Китая №103001426 [2]. Двигатель с постоянными магнитами с объемным осевым магнитным потоком имеет такие преимущества, как большая удельная мощность, более широкое использование, использование двух роторов, простая конструкция, повышенная эффективность и КПД без применения железного сердечника.



**Рисунок 7.** Вид дискового двигателя с печатной платой в поперечном сечении



**Рисунок 8.** Структурное представление фазовой печатной платы (А) дискового двигателя

Данное изобретение состоит из вала двигателя (3), имеющего диск статора (1), и размещается на двух дисках ротора (2). Диск статора образован пакетом аксиальных пластин из двухслойных печатных схем и равномерно покрыт радиальными прямыми проволоками (4), проходящими через отверстия (6), на пери-

ферийной поверхности каждого слоя печатной схем, которые соединены дуговой проволокой (7).

Принцип работы изобретения заключается в том, что с помощью магнитов, установленных на двух дисках ротора, создается осевой магнитный поток, который индуцирует электрический ток на диске статора. Контролируя скорость вращения ротора, имеется возможность контролировать силу тока.

Недостаток двигателя дискового типа с печатными платами — технологические промежутки между прямой и обратной сторонами обмотки и между обмотками статора приводят к уменьшению коэффициента полезного действия (кпд), поскольку, плотность обмоточного провода на активной части якоря не высока.

На кафедре «Радиоэлектроники и электротехники» разрабатывается тихоходный электрический генератор [3] (рисунок 9), имеющий следующие положительные характеристики:

Современные материалы, применяемые для получения более высокой удельной мощности и надежности. Эффективная конструкция, с достаточно плотной компоновкой и, в то же время, защищенная от перегрева. Низкие обороты, требуемые для запуска генератора.

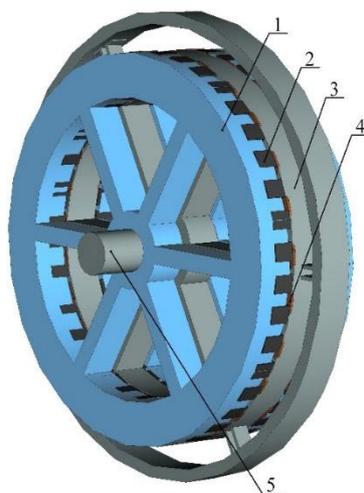


Рисунок 9. Модель тихоходного электрического генератора

#### Описание конструкции устройства:

У тихоходного электрического генератора на постоянных магнитах, содержащего ротор (1) с постоянными магнитами (2) и статор (3), а также якорную обмотку (4), ротор выполнен в виде двух плоских дисков, статор размещен между дисками ротора и выполнен в виде кольца, соединенного с неподвижным валом (5) спицами, якорная обмотка выполнена П-образной формы на наружной поверхности статора в виде плоских медных печатных плат уложенных послойно, магниты с чередующимися полюсами установлены на боковой части ротора в пазах.

Тихоходный электрический генератор на постоянных магнитах работает следующим образом:

При вращении двух ротор-дисков генератора силовые линии полей постоянных магнитов пересекают плоские медные печатные платы якорной обмотки, расположенной на неподвижном статоре. В них возникает ЭДС электромагнитной индукции, величина которой зависит от скорости вращения ротора.

### Список литературы

1. Пат. 2294588 Российская Федерация, МПК 29/06; 21/24 Ротационная электрическая машина с аксиальным полем [Текст] / Джор Мэтью Б., Джор Линкольн М. ; заявитель и патентообладатель Кор Инновэйшн. — № 2005127852/09 ; заявл. 05.02.2004 ; опубл. 27.02.2007, Бюл. № 6. — 2 с. : ил. 22 с. : ил.
2. Пат. 103001426 Китайская Народная Республика, МПК 16/02, 26/3 Двигатель дискового типа с печатной платой без железного сердечника [Текст] / Хуан Пинлинь, Рао Зифан ; заявитель и патентообладатель Электрические технологии Чженьцзян Тенгда. — № 201210467073.2 ; заявл. 12.11.2012 ; опубл. 27.03.2013, Бюл. № 6. — 5 с. : ил.
3. Пат. 2602802 Российская Федерация, МПК H02K 3/26; H02K 16/02; H02K 1/27 Тихоходный электрический генератор на постоянных магнитах [Текст] // Игнатъев. С.Г., Евдокимов А.А., Спиридонов Н.И. и др. 2015127322/07; заявл. 07.07.2015; опубл. 20.11.2016, Бюл.№32, 7с.: ил.
4. Новожилов, Н. А. Выбор параметров ветроэнергетической установки / Н. А. Новожилов, С. В. Соломин // Электрические станции. — 1994. № 8. С. 46–48.
5. Евдокимов А.А., Черыков В.И., Сагтаров Р.Р. [и др.] Расчет магнитной системы магнитоэлектрических генераторов мощностью до 10 кВа для ветроэнергетических установок // Электротехнические и информационные комплексы и системы. — 2018. — № 1. — С. 27–33.
6. Фатеев, Е. М. Ветро двигатели и ветроустановки / Е. М. Фатеев. — М.: Огиз-Сельхозгиз, 1948. — 544 с 11. Шерьязов. С. К. Выбор ветроэнергетической установки / С. К Шерьязов, М. В. Шелубаев // Механизация и электрификация в сельском хозяйстве. — 2010. — № 2. — С. 7.
7. Вольдек А. И., Попов В.В.: Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов / Вольдек А. И., Попов В.В. — СПб.: Питер, 2010. — 350 с.

УДК 321.313

*Умурзакова А.Д., Сарбасова Н.Д.*

Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар. РК

## К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ ТОО «KSP STEEL»

**Аннотация.** В статье рассмотрен вопрос о необходимости разработки методики диагностирования неисправностей силового электрооборудования на примере промышленного предприятия ТОО «KSP Steel», включающего в себя разработку диагностического многопараметрического комплекса с алгоритмом определения технического состояния силового электрооборудования в постоянном режиме, определяющего неисправности, отклонения работы оборудования от режима и возможные последствия при ухудшении эксплуатационных показателей

**Ключевые слова:** *диагностирование, электрооборудование, неисправность, методика диагностирования, дефект.*

Металлургическое промышленное предприятие ТОО «KSP Steel», первое казахстанское предприятие по производству стальных бесшовных труб для нефтегазовой отрасли, было основано в начале 2007 года. Производственный центр компании находится в г. Павлодар. Официальное открытие завода с участием Президента Республики Казахстан Нурсултана Назарбаева состоялось в декабре 2007 года. Общая площадь, на которой размещены производственные объекты предприятия, составляет около 133 га. На предприятии трудятся более 6500 профессионалов и высококвалифицированных специалистов. [1]

Основной деятельностью ТОО «KSP Steel» является производство стальных бесшовных труб различного диаметра и назначения. На сегодняшний день продукция компании с успехом используется для строительства трубопроводов, на объектах нефтегазодобывающих и геологоразведочных компаний и машиностроительными предприятиями Казахстана. Помимо поставок трубы на внутренний рынок, она успешно экспортируется в страны СНГ (Россия, Азербайджан, Туркменистан) и государства дальнего зарубежья, в том числе США.

В настоящее время большое внимание уделяется решению таких задач как повышение надежности работы силового электрооборудования и технологических

систем на промышленном предприятии, что позволит снизить затраты на ремонт и ликвидацию аварий, при этом для обнаружения дефектов силового электрооборудования необходима полная система диагностирования неисправностей на ранней стадии,

Однако, на сегодняшний день, на промышленных предприятиях не всегда используется и есть в наличии система комплексного диагностирования неисправностей силового электрооборудования, ввиду отсутствия данной разработки.

И как следствие, на предприятии, в процессе эксплуатации, появляются проблемы в области диагностирования силового электрооборудования.

Трансформаторы разного назначения в соответствии с действующими правилами технической эксплуатации электроустановок проверяются с различным интервалом времени в отключенном режиме. Это необходимо для контроля их работы своевременного определения возможных дефектов в работе и неисправностей, а также при необходимости проведения вмешательства ремонтного персонала для поддержания работоспособности оборудования и дальнейшей корректной его работы. Основным объектом испытаний в трансформаторах является изоляция, так как она наиболее подвержена агрессивному воздействию окружающей среды и напрямую зависит от условий, в которых установлено данное оборудование. Наиболее вредное воздействие на изоляцию оказывает влага и загрязненность.

И поэтому на промышленном предприятии ТОО «KSP Steel» согласно плану проведения испытаний проводится процедура проверки изоляции на диэлектрическую проницаемость общепринятым способом при помощи мегомметра и передвижной лаборатории на отключенном оборудовании.

Аналогичные трудности сопутствуют и при определении неисправностей электродвигателей и пусковой аппаратуры.

Основной перечень отказов электродвигателей, который невозможно определить без дополнительных устройств или полной диагностики установки, отказы двигателей имеют различную природу и могут проявляться в следствии:

- Пробой изоляции на корпус и межвитковое замыкание обмоток статора для двигателей постоянного тока еще и ротора;
- Повреждение выводных концов кабеля клемной коробки электродвигателя;
- Разрушение якорных бандажей для двигателей постоянного тока;
- Повреждение и рассыпание подшипников ротора;
- Несоосность валов электродвигателя с приводом, которому передается механическая энергия и др.

Все вышеперечисленные дефекты приводят к длительной остановке в работе электродвигателей и технологического процесса на промышленном предприятии.

На сегодняшний день силовое электрооборудование в основном обеспечено только системой защиты, например, по току, и при отказе оборудования выводится в виде цифрового кода на панели частотного преобразователя, на основе которого определяются причины неисправностей.

Однако данная система диагностирования не позволяет наиболее полно и достоверно определять возможные неисправности на работающем оборудовании на ранней стадии, что уменьшает срок эксплуатации и увеличивает стоимость ремонта и время, затраченное на восстановление работоспособности электрооборудования.

Если взять во внимание количество силового электрооборудования, на котором необходимо проводить испытания, то это огромные цифры, а персонал имеющий аккредитацию на проведение испытаний невелик (5-6 человек), из чего следует, что данная диагностика не приводит к эффективному и своевременному определению неисправностей.

К тому же при проведении испытаний и комплексного диагностирования силового электрооборудования необходимо гарантированное отключение агрегата, что приводит к временному останову технологического процесса. И чем чаще необходимо проводить диагностику, тем больше времени затрачивается на технологические простои и как следствие уменьшение выпуска готовой продукции [2], [3], [4].

Большая часть электрооборудования, в частности трансформаторы и электродвигатели, эксплуатируемые на промышленном предприятии в настоящее время, уже давно отработала свой эксплуатационный срок. Персонал, задействованный на предприятии для ремонта и диагностирования, физически не может охватить такой объем оборудования и выявить дефекты на ранней стадии, так как силовое электрооборудование достаточно далеко удалено друг от друга и постоянно занято на непрерывном металлургическом производстве.

Зачастую диагностирование электрооборудования на промышленном предприятии производится после случившейся аварии в процессе ее устранения.

Основные отказы силового электрооборудования являются скрытыми и, как правило, без специализированного оборудования определить неисправность во время эксплуатации невозможно, поэтому останавливать и не разбирать для диагностирования считается нерентабельно.

Исходя из вышеизложенного, можно определить, что для металлургического предприятия ТОО «KSP Steel» просто необходимо модернизировать либо обновить силовое электрооборудование и установить единую дистанционную систему диагностирования и алгоритм распознавания причины возможных отказов для оперативного предотвращения аварийных остановок оборудования.

При диагностировании и испытаниях силового электрооборудования на предприятии ТОО «KSP Steel» помимо положительных результатов измерения про-

считается один недостаток, это отсутствие возможности производить анализ на рабочем оборудовании.

Все виды диагностики и испытаний на предприятии ТОО «KSP Steel» производятся на оборудовании, выведенном из работы находящемся в ремонте текущем, капитальном, аварийном, или является вновь монтируемым оборудованием.

Диагностирование проводится только на силовом электрооборудовании без связи с технологическим процессом и режимом работы. Как показывает статистика:

- выход из строя по причине устаревания составляет 5 %,
- а 95% причиной отказов электрооборудования являются — прямое воздействие технологического процесса режима работы, привязка к механическому оборудованию, климатические условия и внешние факторы.

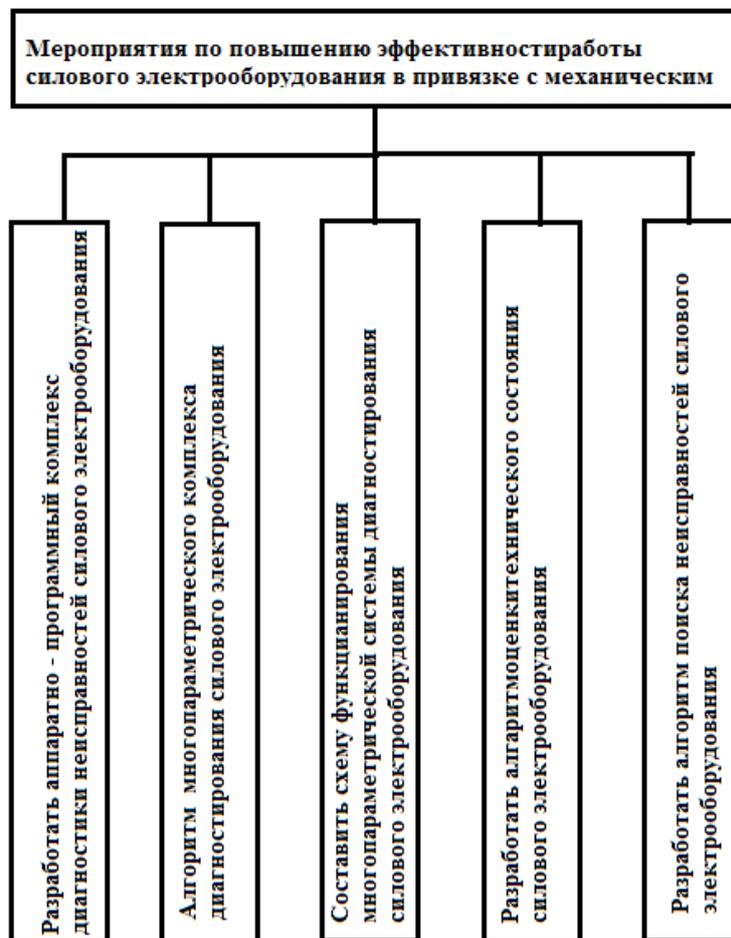
Не учитывая все эти условия сложно контролировать, анализировать и предотвратить отказ оборудования на ранней стадии, исключить серьезные повреждения и затраты на восстановление работоспособности, ремонт силового электрооборудования металлургического производства, которое не может позволить себе длительные остановки в процессе работы.

Методы диагностирования силового электрооборудования, применяемого на промышленном предприятии ТОО «KSP Steel», имеют небольшой диапазон диагностируемых неисправностей.

Наиболее перспективным методом диагностики технического состояния асинхронных электродвигателей и трансформаторных установок являлся бы метод, основанный на анализе параметров электрических машины не только при остановленном оборудовании, но и в период его эксплуатации. Данный метод позволяет частично осуществлять мониторинг технического состояния электродвигателей в реальном времени персоналом. С помощью анализа электрических параметров можно определить техническое состояние трансформаторов, электродвигателей и других силовых электроустановок отследить динамику дефекта и постараться определить ресурс работы агрегатов. Это позволит обеспечить снижение вероятных аварийных отказов оборудования предприятия на 50 % за счет раннего обнаружения зарождающихся дефектов и контроля развития повреждений. Однако, множество видов и методов диагностирования силового электрооборудования промышленного предприятия ТОО «KSP Steel» связаны с определением узкого объема диагностируемых узлов. И поэтому, возникает необходимость в применении интеллектуальной системы диагностики, которая должна объединять в себе несколько методов диагностики, дополняющих друг друга, учитывая при этом всю цепочку задействованного электрооборудования в связке с механическими узлами, местами установки и технологических особенностей при эксплуатации.

Поэтому для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации силового электрооборудования на промышленном предприятии ТОО «KSP Steel» требуется надежное и взаимное согласование функционирования всех конструкционных узлов, участвующих в технологическом процессе. Для этого необходимо разработать интеллектуальную систему диагностирования, используя современные методы и средства технической диагностики. Основной задачей для разработки предложенной системы является повышение эффективности функционирования силового электрооборудования и возможность его диагностирования при нахождении оборудования в работе и участвующего в технологическом процессе.

Перечень мероприятий необходимый для увеличения эффективной работы силового электрооборудования представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Мероприятия, необходимые для повышения функционирования силового электрооборудования

Таким образом, диагностирование неисправностей силового электрооборудования на промышленном предприятии ТОО «KSP Steel» возможно осуществить путем построения функциональной схемы и разработки диагностического мно-

гопараметрического комплекса с алгоритмом определения технического состояния силового электрооборудования в постоянном режиме, определение неисправностей, отклонений работы оборудования от режима и возможных последствий при ухудшении эксплуатационных показателей.

При разработке средств, диагностического многопараметрического комплекса целесообразно использовать методы идентификации, компьютерного моделирования, программирования и теории нечеткой логики, надежности, технического диагностирования и прогнозирования.

### Список литературы

1. [www.kspsteel.kz](http://www.kspsteel.kz) [Электронный ресурс]
2. Неисправности асинхронного электродвигателя. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.malahit-irk.ru>. (Дата обращения: 25.01.2017).
3. Петухов В. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // Новости Электротехники. — 2005. — № 1 (31). — С. 23–28.
4. Неисправности асинхронного электродвигателя. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.malahit-irk.ru>. (Дата обращения: 25.01.2017).
5. Баширов М. Г., Шикунов В. Н. Диагностика электрических сетей и электрооборудования промышленных предприятий. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. 220 с.

УДК 621.32

*Кайдар А.Б., Шапкенов Б.К., Марковский В.П., Кислов А.П.,  
Талипов О.М.*

НАО «Торайгыров университет», г. Павлодар, Республика Казахстан

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

г. Павлодар

**Аннотация.** В статье выполнена оценка средних и действующих значений тока, мощности статических потерь на этапах коммутации инвертора для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, возобновляемые источники энергии, инвертор, коммутация.

*Kaidar A.B., Shapkenov B.K., Markovsky V.P., Kislov A.P., Talipov O.M.*

NAO "Toraigyrov University", Pavlodar, Republic of Kazakhstan

## IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF ENERGY CONVERSION SYSTEMS FOR WIND POWER

city of Pavlodar

**Annotation.** The article evaluates the average and effective values of the current, the power of static losses at the stages of switching the inverter for power supply systems with renewable energy sources

**Keywords:** wind power, renewable energy sources, inverter, switching.

Анализ систем автономного электроснабжения от возобновляемых источников энергии (ВИЭ) показывает, что для полного покрытия пикового потребления необходимы ветрогенераторы или фотопреобразователи с избыточной мощностью. Учитывая, что 2-3 кратное увеличение единичной мощности ВИЭ приводит соответственно к аналогичному увеличению стоимости.

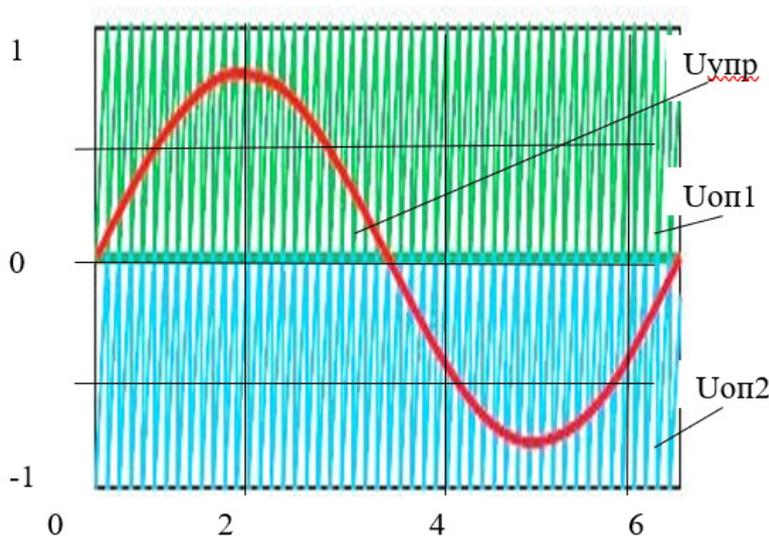
Так как пиковое потребление удвоенной мощности, в общей сложности занимает не более 4 часов (усреднённое двойное потребление) [1]. В ночное же

время, когда электричество особенно дёшево (при 2-х тарифной системе), подведённые электрические мощности практически не используются.

Возможность разнести во времени производство и потребление электроэнергии путем ее накопления в больших масштабах — один из наиболее эффективных путей решения проблемы покрытия пиков потребления. Однако, для аккумуляции электрической энергии нужны накопители, являющихся важнейшим элементом будущих активно-адаптивных сетей, а для преобразования постоянного напряжения аккумуляторов в переменное синусоидальное напряжение — инверторы [2].

В статье [2] авторами выбрана и обоснована наиболее оптимальная топология инвертора.

Для управления 3L-схемой [2] используется ШИМ с двумя синфазными опорными сигналами (рисунок 1).



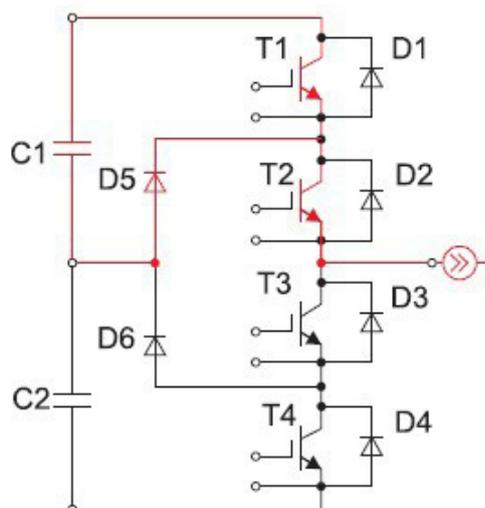
**Рисунок 1.** Напряжение управления и синфазные опорные сигналы

Для данного вида ШИМ на интервалах переключения транзистора T1 коэффициент регулирования определяется выражением:

$$D(\theta) = m \cdot \sin\theta. \quad (1)$$

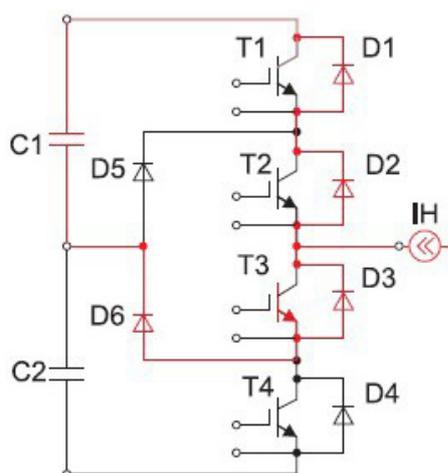
При индуктивном характере нагрузки ток в выходной цепи модуля имеет синусоидальную форму и отстает по фазе от напряжения. В результате на периоде выходной частоты в трехуровневой схеме последовательно реализуются четыре контура коммутации [3]:

- при положительном выходном напряжении и положительном токе нагрузки (рисунок 2);



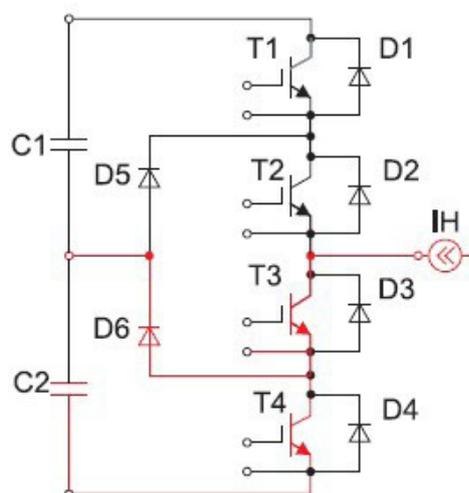
**Рисунок 2.** Первый контур коммутации

- при положительном выходном напряжении и отрицательном токе нагрузки (рисунок 3);



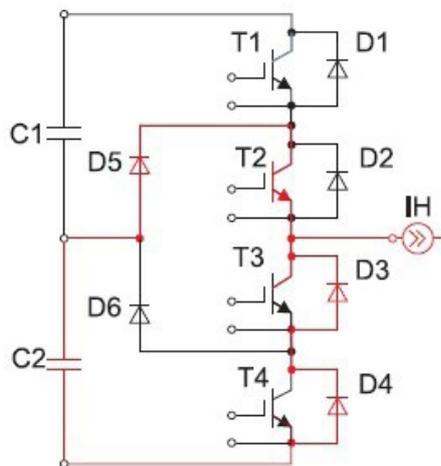
**Рисунок 3.** Второй контур коммутации

- при отрицательном выходном напряжении и отрицательном токе нагрузки (рисунок 4);



**Рисунок 4.** Третий контур коммутации

- при отрицательном выходном напряжении и положительном токе нагрузки (рисунок 5).



**Рисунок 5.** Четвертый контур коммутации

В первом и третьем контурах в процессе коммутации участвуют два полупроводниковых элемента. Данные контуры охватывают относительно малую площадь и называются «короткими» контурами коммутации.

Во втором и четвертом контурах в процессе коммутации участвуют уже четыре полупроводниковых элемента [4, 5]. Данные контуры охватывают примерно вдвое большую площадь и называются «длинными» контурами коммутации.

В таблице 1 представлены интервалы коммутаций, выраженные в радианах, и относительные длительности проводящего состояния полупроводниковых элементов модуля, расположенных сверху от силового вывода точки фазы.

**Таблица 1.** Интервалы коммутаций и относительная длительность проводимости ключевых элементов трехуровневой схемы

Ключ	Интервал коммутаций	Длительность проводимости
T1	$\varphi - \pi$	$D(\theta) = m \cdot \sin\theta$
D1	$0 - \varphi$	$D(\theta) = m \cdot \sin\theta$
T2	$\varphi - \pi$	1
T2	$\pi - (\pi + \varphi)$	$1 + D(\theta) = 1 + m \cdot \sin\theta$
D2	$0 - \varphi$	$D(\theta) = m \cdot \sin\theta$
D5	$\varphi - \pi$	$1 - D(\theta) = 1 - m \cdot \sin\theta$
D5	$\pi - (\pi + \varphi)$	$1 + D(\theta) = 1 + m \cdot \sin\theta$

Ввиду симметричности схемы, полупроводниковые элементы, расположенные снизу от точки фазы, будут иметь те же параметры проводимости, однако интервалы коммутаций для данных ключей будут сдвинуты на  $\pi$  радиан.

При данных параметрах проводимости для каждого полупроводникового элемента могут быть рассчитаны значения средних и действующих токов, а также потери проводимости.

### Силовые IGBT транзисторы T1 и T4

Среднее значение тока:

$$I_{cpT1} = I_{cpT4} = I_{Hmax} \frac{m}{4\pi} [(\pi - \varphi)\cos\varphi + \sin\varphi]. \quad (2)$$

Действующее значение тока:

$$I_{dT1} = I_{dT4} = I_{Hmax} \sqrt{\frac{m}{4\pi} \left[ 1 + \frac{4}{3}\cos\varphi + \frac{1}{3}\cos(2\varphi) \right]}. \quad (3)$$

Средняя мощность потерь проводимости:

$$P_{прT1} = P_{прT4} = \frac{m}{4\pi} I_{Hmax} V_T [(\pi - \varphi)\cos\varphi + \sin\varphi] + \frac{m}{4\pi} I_{Hmax}^2 R_{CE} \left[ 1 + \frac{4}{3}\cos\varphi + \frac{1}{3}\cos(2\varphi) \right]. \quad (4)$$

### Силовые IGBT транзисторы T2 и T3

Среднее значение тока:

$$I_{cpT2} = I_{cpT3} = I_{Hmax} \frac{m}{4\pi} \left[ \frac{4}{m} + \varphi \cdot \cos\varphi - \sin\varphi \right]. \quad (5)$$

Действующее значение тока:

$$I_{dT2} = I_{dT3} = I_{Hmax} \cdot \sqrt{\frac{m}{4\pi} \left[ \frac{\pi - m}{m} + \frac{4}{3}\cos\varphi - \frac{1}{3}\cos(2\varphi) \right]} \quad (6)$$

Средняя мощность потерь проводимости:

$$P_{прT2} = P_{прT3} = \frac{m}{4\pi} \cdot I_{Hmax} \cdot V_T \cdot \left[ \frac{4}{m} + \varphi \cdot \cos\varphi - \sin\varphi \right] + \frac{m}{4\pi} I_{Hmax}^2 R_{CE} \left[ \frac{\pi - m}{m} + \frac{4}{3}\cos\varphi - \frac{1}{3}\cos(2\varphi) \right]. \quad (7)$$

### Высоковольтные диоды FRD D5 и D6

Среднее значение тока:

$$I_{срD5} = I_{срD6} = I_{н max} \frac{m}{4\pi} \cdot \left[ \frac{4}{m} + \varphi \cdot \cos\varphi - \sin\varphi \right]. \quad (8)$$

Действующее значение тока:

$$I_{дD5} = I_{дD6} = I_{н max} \sqrt{\frac{m}{4\pi} \cdot \left[ \frac{\pi - m}{m} - \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]}. \quad (9)$$

Средняя мощность потерь проводимости:

$$P_{прD5} = P_{прD6} = \frac{m}{4\pi} \cdot I_{н max} \cdot V_F \cdot \left[ \frac{4}{m} - \frac{\pi - 2}{\pi} \cos\varphi - \frac{2}{\pi} \sin\varphi \right] + \frac{m}{4\pi} I_{н max}^2 R_{AK} \left[ \frac{\pi - m}{m} - \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]. \quad (10)$$

### **Высоковольтные шунтирующие (обратные) FRD диоды D1, D2, D3 и D4**

При индуктивном характере нагрузки и значениях коэффициента мощности  $\cos\varphi = 0,8$  обратные диоды проводят ток на относительно коротких интервалах периода выходной частоты [4]. Поэтому потери проводимости в данных диодах составляют не более 10-12% от потерь в соответствующих транзисторных элементах.

Поскольку напряжение на ключевых элементах модуля в 3L-схеме вдвое меньше, в конструкции модуля используются полупроводниковые кристаллы транзисторов и диодов с максимальным напряжением 1200 В. Данные чипы изготавливаются на подложках с меньшей толщиной базового слоя и имеют меньшие значения напряжений отсечки и дифференциальных сопротивлений на участках проводимости по сравнению с кристаллами на 1700 В.

Типовыми параметрами аппроксимации вольт-амперной характеристики (ВАХ) высоковольтных (1200 В) силовых IGBT транзисторов и диодов FRD (1200 В) являются:

- напряжение отсечки транзистора  $V_T = 1,5$  В;
- дифференциальное сопротивление транзистора  $R_{CE} = 10$  мОм;
- напряжение отсечки диода  $V_F = 1,5$  В;
- дифференциальное сопротивление диода  $R_{AK} = 8$  мОм;

Рассчитанные значения токов и средняя мощность статических потерь для ключевых элементов модуля приведены в таблицах 2 и 3.

В таблице 4 показана суммарная мощность динамических и статических потерь в элементах 3L-модуля.

**Таблица 2.** Средние и действующие значения токов ключевых элементов модуля

Параметр	Среднее значение тока, А			Действующее значение тока, А		
	T1 и T4	T2 и T3	D5 и D6	T1 и T4	T2 и T3	D5 и D6
Значение	16,6	31,3	31,2	37,2	49,8	42,5

**Таблица 3.** Мощность статических потерь в ключевых элементах модуля

Параметр	Средняя мощность потерь проводимости, Вт				
	T1 и T4	T2 и T3	D1 и D4	D2 и D3	D5 и D6
Значение	38,7	71,6	3,9	7,2	63,4

**Таблица 4.** Суммарная мощность потерь в ключевых элементах модуля

Параметр	Суммарная мощность потерь $P_{\Sigma}$ , Вт				
	T1 и T4	T2 и T3	D1 и D4	D2 и D3	D5 и D6
Значение	155,9	71,6	3,9	7,2	68,8

## Выводы

Выполненный анализ и проведенные исследования показали, что для достижения наибольшей энергетической эффективности систем преобразования энергии для энергетики приемлемы несколько путей, наиболее важными из которых можно отметить следующие:

1. Использование многоуровневых полупроводниковых преобразователей в системах преобразования большой мощности с напряжениями от единиц до десятков киловольт;

2. Использование параллельного соединения полупроводниковых преобразователей для повышения установленной мощности системы;

3. Применение эффективных алгоритмов управления, позволяющих полупроводниковым преобразователям работать в режимах с наилучшими показателями качества.

4. Использование многоуровневых преобразователей позволяет достичь наибольшей энергоэффективности за счет повышения качества преобразования электрической энергии, снизить массу, габариты и стоимость фильтров в цепях переменного тока. Кроме того, многоуровневые преобразователи позволяют использовать полупроводниковые приборы с меньшим классом по напряжению, соответственно и стоимостью.

### Список использованной литературы

1. А.П. Кислов, А. Б. Кайдар, В. П. Марковский, Б. К. Шапкенов. Необходимость применения аккумуляторных накопителей в электроснабжении на основе возобновляемых источников. Вестник ПГУ, № 2, 2014.
2. А.П. Кислов, А. Б. Кайдар, В. П. Марковский, Б. К. Шапкенов. Выбор топологии инвертора с аккумуляторными накопителями. Вестник ПГУ, № 2, 2014.
3. Темирханов Е.У., Кайдар А.Б., Шапкенов Б.К., Кислов А.П., Марковский В.П. Многоуровневые инверторы для фотопреобразователей. Материалы международной научно-теоритической конференции «VI Торайгыровские чтения» посвященные 120-летию С. Торайгырова , Т1, 2013, с.392-401.
4. Шапкенов Б.К., Калиев Б.З., Кайдар А.Б. Монография «Теория и практика энергетических преобразователей». — Saarbrucken, Germany: Издательство «LAP Lambert Academic Publishing», 2014. — 461 с.
5. А.П. Кислов, Е.У. Темирханов, А.Б. Кайдар, Е.В. Иванова, Б.К. Шапкенов, В.П. Марковский. Инверторы на 220 В на Trench IGBT-транзисторах 6 и 7 поколения для солнечных батарей. Материалы международной научно-теоритической конференции «VI Торайгыровские чтения» посвященные 120-летию С. Торайгырова, Т1, с.325-332.

## СЕКЦИЯ 3. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

---

---

УДК 629.12

*Шмыров И.Б.*

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ), г. Казань

### ЭКРАНОПЛАН КАК СРЕДСТВО ОСВОЕНИЯ СЕВЕРА РОССИИ И АРКТИКИ

г. Казань

**Аннотация.** В работе рассматривается актуальность экранопланов для перевозки большого количества грузов на дальние расстояния, такие как Север России, Арктика, Антарктика и другие континенты. А так же рассматриваются плюсы и минусы данной техники и потенциальный метод освоения севера России с помощью среднеразмерных экранопланов.

**Ключевые слова:** *экраноплан; Север России; Арктика; доставка грузов, среднеразмерные экранопланы.*

*Shmyrov I. B.*

KNITU-KAI named after A. N. Tupolev (KNITU-KAI), Kazan

### EKRANOPLAN AS A MEANS OF DEVELOPING THE NORTH OF RUSSIA AND THE ARCTIC

Kazan

**Abstract.** The paper considers the relevance of ekranoplanes for the transportation of a large number of goods over long distances, such as the North of Russia, the Arctic, Antarctica and other continents. The pros and cons of this technique and a potential method of developing the north of Russia with the help of medium-sized ekranoplanes are also considered.

**Keywords:** *ekranoplan; North of Russia; Arctic; cargo delivery, medium-sized ekranoplans.*

На сегодняшний день остается актуальным вопрос перевозки большого количества грузов за один рейс на дальние расстояния и за меньшее время. Современные средства доставки различных грузов водными путями, такие как сухогрузы, контейнеровозы, танкеры и иные суда, решают эту проблему, однако время перехода таких судов может затягиваться до недель и месяцев в особенности если грузоперевозка осуществляется через северно-ледовитый океан.

Иным средством доставки относительно большого количества грузов может служить экраноплан, который способен развивать крейсерскую скорость до 1000 километров в час, что значительно может сократить время доставки груза из пункта А в пункт Б.

Сам по себе экраноплан — это универсальное транспортное средство, передвигающееся с большой скоростью и летящее в пределах действия экранного эффекта, а именно на небольшой высоте от земли, воды, льда или покрова снега.

В период с 1992 года по 2002 год была проведена работа Международной классификацией ИМО и Российской Федерацией по классификации экранопланов как морских судов, а также было разработано первое в мире «Временное руководство по использованию экранопланов». На сегодняшний день экранопланы относят к морским судам и подразделяют на три типа:

- 1) Тип А — экранопланы, способные эксплуатироваться только на высотах действия «эффекта экрана»;
- 2) Тип В — экранопланы, умеющие кратковременно и на ограниченную величину увеличивать высоту полета над экраном;
- 3) Тип С — летающие средства, способные на длительное время отрываться от экрана на неограниченную высоту полета, такие аппараты называют еще «экранолетами».

Экранный эффект представляет собой подобие воздушной подушки, только образуемой путём нагнетания воздуха не специальными устройствами, а набегавшим потоком воздуха [1,2]. То есть «крыло» таких аппаратов создаёт подъёмную силу не только за счёт разреженного давления над верхней плоскостью (как это происходит у самолётов со стандартной комплектацией), а дополнительно и за счёт повышенного давления под нижней плоскостью крыла, создать которое возможно только на очень небольших высотах (от нескольких сантиметров до нескольких метров). Эта высота соизмерима с длиной средней аэродинамической хорды (САХ) крыла. Поэтому крыло у экраноплана стараются выполнить с небольшим удлинением.

Эффект экрана связан с тем, что возмущенные воздушные массы от крыла достигают земли или же другой поверхности, отражаются и успевают дойти до этого же крыла. Таким образом, рост давления под крылом получается большим. Скорость распространения волны давления равна скорости звука [3,4].

Сегодня можно выделить целый ряд положительных и отрицательных качеств экранопланов.

Основными положительными качествами экраноплана являются:

- 1) Высокая живучесть аппарата.
- 2) Большая скорость передвижения.
- 3) Сравнивая экраноплан с самолетом можно понять, что экраноплан более экономичен в плане расхода топлива, обладает большей грузоподъемностью и большей безопасностью по сравнению со своим летающим другом, так как находится на небольшой высоте от поверхности земли.
- 4) Для обеспечения логистики экраноплана требуются значительно меньшие усилия и средства, так как ему не важно по какой поверхности передвигаться и совершать движение.

Военная сфера выделила свой ряд преимуществ экраноплана по сравнению с другим транспортом:

- 1) За счет динамической подушки движения выяснилась малая заметность для мин и радаров врага.
- 2) Большая скорость переброски войск.
- 3) Значительно большая по сравнению самолетом грузоподъемность.
- 4) Невосприимчивость к дорогам.

Однако, как и в любом перспективном транспорте скептики выделяют некие отрицательные качества транспорта на динамической подушке [5,6]. Например, ими говорится о проблеме столкновения перелетных птиц и рыбаков с экранопланом, летящим по водной глади реки или о том, что для полета на экраноплане нужны особые навыки управления. Так же пессимисты говорят о относительно низкой маневренности и большей затрате энергии и топлива при старте и набора высоты необходимой для экранного эффекта по сравнению с самолетом.

Несмотря на имеющиеся недостатки в современном мире имеются области применения для экранопланов. В силу того, что экраноплан движется под действием динамической воздушной подушке ему не нужны дороги и он может с легкостью осваивать такие места как: север России, мировой океан, тундра, пустыня, Арктика и Антарктика.

Сегодня разрабатывается план по освоению с помощью среднеразмерных экранопланов севера России: планируется расчистить полосу шириной до 50 метров необходимой длинны и запустить по ней небольшие экранопланы размахом крыла до 15 метров и количеством посадочных мест до 10 человек. Так как среднеразмерный экраноплан может передвигаться со скоростью до 600 км/ч и ему не нужны аэродромы перемещение от Камчатского полуострова до центрального региона не будет занимать баснословных двух недель на поезде, а сократит это время до 9-11 часов, что существенно ускорит процесс освоения западной ча-

сти России. Также экранопланы, но уже значительно больших размеров, рассматривают в качестве военного транспорта и военных кораблей, потому как имеют большую скорость передвижения и тяжело распознаваемы вражескими ЭРЛС, за счет эффекта экрана. В советское время были даже разработаны серийные модели экранопланов «Орленок» — десантно-штурмовой корабль и «Лунь», несущий на себе шесть противокорабельных тяжелых ракет типа «Гранит».

Небольшие среднеразмерные экранопланы разработанные в разные годы в мире приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Технические характеристики среднеразмерных экранопланов

Название Экраноплана	Изображение	Характеристики
ЭК-12П «Иволга» 1998 г Разработчик: ЗАО НПК «ТРЭК» Производитель ФГУП ПО «Полёт»		Экипаж: 1-2 Пассажировместимость: 12 Грузоподъёмность: 1200 кг Длина: 16 м Размах крыла: 12,7 м Высота: 4 м Мощность двигателей: 2 × 236 л.с. Максимальная скорость: 220 км/ч Крейсерская скорость: 175-185 км/ч
РТ-6 2003 г. Разработчик: Казанский НИТУ им. А.Н. Туполева — КАИ		Число пассажиров — 8 Масса — 1500 кг Мощность двигателя — 75 л.ш.
Буревестник-24 Разработчик: Руководство Якутии и компания «Небо и море»		Экипаж: 1—2 чел. Пассажиры: 24 чел. Масса снаряжённая: 4 т Полезная нагрузка: 3,5 т Крейсерская скорость: свыше 200 км/ч Дальность полёта: 2000 км Силовая установка: два двигателя Avi- aSmart B-V12K, 421/350 л. с.
Экспериментальный экрaноплан ЭСКА-1 Сконструирован в студенческом конструкторском бюро МИИГА (Московский		Размах крыла — 6,90 м; Длина — 7,80 м; Высота — 2,20 м; Площадь крыла — 13,85 м <sup>2</sup> ; Масса пустого снаряженного — 234 кг; Полетная масса — 450 кг; Тип двигателя — поршневой М-63;

<p>институт инженеров гражданской авиации) группой инженеров-энтузиастов.</p>		<p>Мощность — 32 л.с.;                  Максимальная скорость — 140 км/ч;                  Крейсерская скорость — 100 км/ч;                  Практическая дальность — 350 км;                  Высота полета на экране — 300-1500 мм;                  Экипаж — 2 человека.</p>
<p>Экраноплан Акваглайд-5                  Разработчик:                  Российская компания ЗАО АТТК</p>		<p>Длина габаритная: 10,66 м;                  Максимальное водоизмещение: 2400 кг;                  Ширина габаритная: 5,9 м;                  Масса в снаряженном состоянии: 2010 кг;                  Высота габаритная, м 3,35                  Дедвейт: 506 кг;                  Ширина корпуса на миделе: 1,4 м;                  Экипаж: 1 чел.;                  Экипаж и снаряжение: 106 кг;                  Пассажировместимость: 4 чел.;                  Полезная нагрузка: 300 кг;                  Скорость на крейсерском режиме: 150-170 км/ч;                  Топливо: 100 кг;                  Дальность хода: 350-450 км;                  Материал планера: стекло-пластик</p>
<p>Экраноплан RFB X-114                  Разработчик:                  Немецкая компания Rhein-Flugzeugbau GmbH (RFB)</p>		<p>Размах крыла, м: 7;                  Длина, м: 12,80;                  Высота, м: 2,90;                  Масса, кг: пустого самолета — 1000, максимальная взлетная — 1500;                  Тип двигателя: 1 ПД Lycoming IO-360;                  Мощность, л. с.: 1 x 200;                  Максимальная скорость, км/ч: 150;                  Практическая дальность, км: 2000;                  Практический потолок, м: 800;                  Экипаж, чел.: 1;                  Полезная нагрузка: 5-6 пассажиров</p>

### Список литературы

1. Управление телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом оснащенным движителями с изменяемым вектором тяги. Шмыров И.Б. В книге: Гагаринские чтения — 2020. Сборник тезисов докладов. 2020. С. 271-272
2. Переход от телеуправляемого к автономному необитаемому подводному аппарату, оснащенному движителями с изменяемым вектором тяги. Кузьмин

И.В., Шмыров И.Б. В книге: Гагаринские чтения — 2020. Сборник тезисов докладов. 2020. С. 251-252.

3. Возможности инженерного метода предварительного проектирования на примере модернизации необитаемой глубоководной буксируемой системы «Абисаль 3». Шмыров И.Б., Петров И.А. В сборнике: XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых). Материалы Международной молодёжной научной конференции. В 6-ти томах. 2019. С. 408-411.
4. Левшонков Н.В., Гусев А.Л., Определение основных проектных параметров системы стабилизации длинномерной буксируемой косы со специальными автоматическими стабилизаторами. Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 1-3 (41). С. 28-33.
5. Актуальные вопросы современной науки и общества. Егошина Д.Р., Шмыров И.Б., Газизова А.И. В сборнике: Высокие технологии и инновации в науке. сборник избранных статей Международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2020. С. 287-291.
6. Развитие техники и технологий в условиях глобализации. Шмыров И.Б., Петров И.А., Газизова А.И. В сборнике: Актуальные вопросы современного научного общества. Кемерово, 2020. С. 60-63.

УДК 004.77

*Мийзамов А.А., Енин В.М., Матющенко И.А.*

Нижевартовский государственный университет, г. Нижевартовск

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

г. Нижевартовск

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные подходы к понятию кибербезопасности и защиты информации. Приводятся примеры наиболее часто встречающихся кибератак и приёмы, их нейтрализующие.

**Ключевые слова:** информация, компьютерная сеть, безопасность, киберпреступления, защита данных.

*Miyzamov A.A., Enin V.M., Matyushchenko I.A.*

Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk

## CURRENT ISSUES OF CYBERSECURITY

Nizhnevartovsk

**Abstract.** The article discusses modern approaches to the concept of cybersecurity and information security. Examples of the most common cyber-attacks and techniques that neutralize them are given.

**Keywords:** information, computer network, security, cybercrime, data protection.

На сегодняшний день особенно трудно внедрять наиболее эффективные методы кибербезопасности, поскольку гаджетов стало куда больше, чем людей, а злоумышленники применяют всё более изощрённые способы атак.

Кибербезопасность — реализация мер по защите информации и систем, хранящих или обрабатывающих информацию, которые определяются следующими принципами [1]:

- 1) конфиденциальность;
- 2) целостность;
- 3) доступность;
- 4) строгое выполнение обязательств;
- 5) аутентификация.

Раскроем эти принципы более подробно.

*Конфиденциальность.* Информация считается конфиденциальной, если она может быть доступна только авторизованным пользователям. Суть конфиденциальности заключается в том, что к личным данным пользователя доступ есть только у него и ни у кого более. Он может контролировать доступ к личной информации. Нарушение этого принципа — частая причина многих кибератак. Злоумышленники перехватывают информацию во время её передачи (например, через небезопасное Wi-Fi-соединение) или могут обойти контроль безопасности в системе, чтобы украсть хранящуюся там информацию.

По данным Центра стратегических и международных исследований, 2014 год запомнился «большими цифрами». Ущерб от утечки личных данных тогда составил более \$150 млрд. По оценкам специалистов, эта история повторяется каждый год [2].

*Целостность.* Информация сохраняет свою целостность, если она может быть изменена только авторизованными пользователями. Необходимо, чтобы целостность информации легко проверялась, то есть требуется, чтобы мы могли легко определить, была ли она изменена неавторизованной третьей стороной.

*Доступность.* Информация считается доступной, если имеется возможность её получения данным потребителем.

*Строгое выполнение обязательств.* Связывает объект (программное средство, пользователя) с действиями, предпринимаемыми этим объектом. Общие методы обеспечения этого принципа включают проверку подлинности пользователя, цифровые подписи и ведение системного журнала.

*Аутентификация.* Компонент, обеспечивающий доступ к информации или возможности её изменения только авторизованным пользователем. Механизм аутентификации является одним из наиболее значимых компонентов информационных систем, так как успех других четырёх принципов часто зависит именно от аутентификации [3].

Как правило, большинство кибератак имеют общую цель — получение доступа к личной информации, её изменение или уничтожение, а также шантаж на основе полученного доступа к приватной информации. Перечислим наиболее распространённые виды кибератак, о которых следует знать.

1. Aircrack-ng. Набор инструментов, которые можно использовать для мониторинга, атак, тестирования и взлома сетей Wi-Fi. Он совместим с Windows, Linux, macOS и является инструментом командной строки. Его можно использовать для атаки и взлома WPA (Wi-Fi Protected Access) и WEP (Wired Equivalent Privacy). Механизм крепления прост. Он отслеживает и собирает пакеты, после захвата достаточного количества пакетов он пытается восстановить пароль.

Несколько вещей, над которыми стоит подумать, прежде чем начать: понадобится беспроводная карта, которая может вводить пакеты в сеть, иначе осуществить взлом не удастся.

2. AirSnort. Бесплатное программное обеспечение (ПО) для взлома Wi-Fi, перехватывающее пакеты и пытающееся расшифровать ключи. Мониторинг выполняется в беспорядочном режиме и записывает достаточно пакетов, чтобы надёжно расшифровать ключ. Это простой инструмент, поддерживающий платформы Windows и Linux. Дальнейшая разработка и обслуживание этого инструмента были прекращены, но старую версию всё ещё можно скачать.

3. Kismet. Бесплатное ПО, написанное на C++, которое можно использовать для прослушивания пакетов TCP (Transmission Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol), DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) и ARP (Address Resolution Protocol). Это пассивный инструмент, который не взаимодействует с сетью. Может находить скрытые сети и используется в вардрайвинге. Захваченные пакеты можно экспортировать в Wireshark и проанализировать в дальнейшем. Он доступен для Linux, Windows и некоторых других платформ.

4. Cain & Abel. Популярный инструмент, используемый для взлома паролей. Способен «обнюхивать» сеть, взламывать зашифрованные пароли, используя различные методы взлома и выполнять атаки криптоанализа. Он также может обнаруживать беспроводные ключи, анализируя соответствующие протоколы.

5. CoWPAtty. Инструмент на основе Linux, который может выполнять атаки по предварительно общим ключам для сетей WPA. Инструмент имеет интерфейс командной строки и основан на атаках по словарю в беспроводных сетях с помощью файла списка слов. Выполнение происходит медленно из-за использования SHA 1 (Secure Hash Algorithm) с начальным значением SSID (Service Set Identifier) [4].

Чтобы избежать вышеописанных способов атак, можно предпринять следующие меры:

- использовать антивирусные системы со встроенной «песочницей»;
- применять специализированные сервисы анти-DDoS (Distributed Denial of Service);
- не хранить важную информацию в открытом виде или же в открытом доступе;
- всегда, по возможности, применять двухфакторную аутентификацию;
- соблюдать парольную политику, в которой есть особые требования к длине и сложности пароля;
- своевременно обновлять антивирусные программные средства.

Эксперты в области кибербезопасности постоянно ищут и анализируют новые угрозы, а затем создают методы борьбы с ними. Важно научить людей ис-

пользовать защитное ПО, регулярное обновление которого необходимо для его эффективной работы и безопасности пользовательских данных.

### Список литературы

1. Олбинг К., Тронкон П. Bash и кибербезопасность: атака, защита и анализ из командной строки Linux. СПб.: Питер, 2020. 288 с.
2. Чунина Н. Самые крупные кибератаки за последние четыре года [электронный ресурс]. — URL: <https://digital.m24.ru/site/article/category/3/rubric/> (дата обращения: 13.03.2021).
3. Самойдюк А. Безопасность и конфиденциальность: в чём разница? [электронный ресурс]. — URL: <https://rb.ru/story/guide-to-internet-security/> (дата обращения: 13.03.2021).
4. Сафонов Л. Rogue AP — фальшивые точки доступа [электронный ресурс]. — URL: <https://habr.com/ru/post/277793/> (дата обращения: 13.03.2021).

УДК 621.31

**Фирсов А. В.**

Акционерное общество «Россети Тюмень» Сургутские электрические сети,  
г. Сургут

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЦПС

г. Сургут

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено типовое оборудование цифровой подстанции (ЦПС) с распределенной архитектурой систем автоматизации и физическим разделением коммуникационной сети на шину процесса и подстанционную шину. В статье также представлены этапы обучения, как для будущих молодых специалистов, так и повышения квалификации уже работающих специалистов.

**Ключевые слова:** *цифровизация, цифровая подстанция, подстанции, цифровые технологии в области электроэнергетики.*

**Firsov A. V.**

Joint Stock Company Rosseti Tyumen Surgut Electric Networks, Surgut

## IMPLEMENTATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION OF DSP

Surgut

**Abstract.** This article discusses the typical equipment of a digital substation (DSP) with a distributed architecture of automation systems and physical separation of the communication network into a process bus and a substation bus. The article also presents the stages of training, both for future young specialists and advanced training of already working specialists.

**Key words:** *digitalization, digital substation, substations, digital technologies in the electric power industry.*

В наше время сложно представить себе современного человека без компьютера и смартфона. Использование электронных гаджетов стало обычным делом. Поэтому внедрение цифровизации в электроэнергетику не является неожидан-

ностью. В 21 веке развитие электроэнергетики тесно связано с развитием цифровых технологий.

Внедрение цифровых технологий в энергетику необходимо производить постепенно в несколько шагов. В статье будет акцентировано внимание на начальном этапе.

На начальном этапе цифровизации необходимо создать инновационные цифровые подстанции для обучения будущих специалистов. Одним из таких мест станет учебный полигон филиала АО «Россети Тюмень» Нижневартовские электрические сети.

В качестве примера реализации ЦПС выбрана подстанция 110 кВ, с двумя силовыми трехобмоточными трансформаторами 110/35/10 кВ мощностью 25 МВА каждый. Трансформаторы оборудованы устройством РПН, распределительное устройство 110 кВ выполнено по схеме 5Н. Распределительные устройства ОРУ 35 кВ и КРУ 10 кВ разделены на две секции каждая, по числу питающих вводов силовых трансформаторов.

В состав цифровой подстанции входит следующее оборудование:

- подсистемы АСУ ТП;
- подсистемы СОПТ и СН;
- блочно-модульного здания для размещения оборудования.

Основополагающим стандартом реализации ЦПС является стандарт МЭК 61850 «Сети и системы связи для подстанции» [4], который определяет не только протоколы обмена данными между устройствами, но и предъявляет требования к информационной модели данных (структуре данных). При этом некоторые аспекты организации передачи данных, например, коммуникационной сети, остаются за рамками стандарта. Следует отметить, что со второй редакцией стандарт МЭК 61850 вышел за пределы ПС и охватил практически всю электроэнергетическую систему, поэтому для указания технологий на базе МЭК 61850 все чаще применяется термин «цифровая энергосистема» (ЦЭС).

На текущий день ООО НПП «ЭКРА» предлагает вариант реализации ЦПС, которые описываются следующими тезисами [2]:

- на ЦПС используется две физически изолированных коммуникационных шины — шина процесса и подстанционная шина;
- шина процесса предназначена для передачи мгновенных значений тока и напряжения по протоколу SV профиль МЭК61850-9-2LE;
- подстанционная шина используется для передачи значений дискретных сигналов по протоколу МЭК61850-8-1 GOOSE, а также для организации мониторинга и управления оборудованием по протоколу МЭК61850-8-1 MMS;
- для оцифровки аналоговых и дискретных сигналов применяются АПАС и ПДС соответственно, производства ООО НПП «ЭКРА»;

- АПАС и ПДС выносятся на ОРУ подстанции в шкафы наружной установки;
- в полном объеме (обмен аналоговыми и дискретными величинами в цифровом виде) технология ЦПС применяется только для классов напряжения 110 кВ и выше, т.к. для класса 6-35 кВ установка дополнительных устройств АПАС и ПДС приведет необоснованному увеличению конечной стоимости;
- для обеспечения бесперебойности соединений в коммуникационной сети применяется протокол резервирования PRP и MRP (или аналог);
- синхронизация времени вторичного оборудования осуществляется по протоколам PTP и SNTP от сервера времени серии СВ производства ООО НПП «ЭКРА».

#### 1. Устройства преобразования аналоговых сигналов.

Для преобразования аналоговых и дискретных сигналов, используются устройства АПАС и ПДС соответственно, производства ООО НПП «ЭКРА».

АПАС предназначены для преобразования аналоговых величин от вторичных цепей измерительных трансформаторов тока и напряжения в цифровой вид и публикации полученных цифровых отсчетов в шину процесса в соответствии протоколом МЭК 61850-9.2 SV.

Для распределенной ЦПС применяются проверенные временем традиционные решения по автоматизации ПС, соответственно для защиты оборудования 110 кВ применяются два устройства АПАС, подключенных к разным кернам трансформаторов тока. Решение положительно сказывается на надежности системы, обеспечивая дополнительное резервирование [3]. Для организации функции АСТУЭ устанавливаются дополнительные устройства АПАС, подключаемые к измерительным кернам трансформаторов.

Как отмечалось ранее, для присоединений 6-35 кВ применение устройств АПАС, как и ПДС нецелесообразно. Однако, следует отметить, что некоторым алгоритмам защит оборудования 110 кВ требуются данные о токах и напряжениях на стороне 6-35 кВ (например ДЗТ), следовательно во вводные ячейки и ячейки ТН 35/10 кВ устанавливаются устройства АПАС/ПДС выполняют функцию преобразования унифицированных электрических дискретных сигналов в цифровую форму в соответствии с протоколом GOOSE и передачи их в подстанционную шину, а также обратное преобразование сигналов, принятых посредством GOOSE, в положение контактов выходных реле.

#### 2. Комплекс РЗА.

Устройства РЗА для ЦПС 110 кВ и выше существенно отличаются традиционных терминалов и изготавливаются максимально компактными (из-за отсутствия блоков аналоговых входов, дискретных входов/выходов) [1]. Однако

следует отметить, что все существующие на рынке решения в части РЗА 110 кВ и выше для ЦПС построены на базе традиционных устройств РЗА. Этот факт накладывает ограничения, как на минимальный размер устройств, так и на их стоимость (за счет необходимости увеличения вычислительных мощностей терминалов для обработки потоков данных, полученных по протоколам SV и GOOSE). Несмотря на это устройства РЗА для ЦПС являются унифицированными с точки зрения аппаратной платформы устройствами. Различия между функциональными исполнениями терминалов связаны только с программным обеспечением, а также количеством интерфейсов связи с информационными шинами подстанции.

В части РЗА концепция распределенной ЦПС подразумевает, что для защиты и управления одним присоединением должен быть предусмотрен комплекс устройств, реализующих функции:

- основной защиты присоединения;
- резервной защиты присоединения;
- устройства управления присоединением.

Все устройства РЗА 110кВ обеспечивают прием мгновенных значений аналоговых сигналов в соответствии со спецификацией МЭК61850-9-2LE. А также обеспечивают горизонтальный обмен логическими сигналами между собой и устройствами РЗА 6-35кВ по средствам GOOSE сообщений.

В качестве основных защит линии применяются традиционные устройства типа ДЗЛ [4]. Применение традиционных устройств связано в первую очередь с необходимостью адаптации полукомплекта ДЗЛ противоположного конца линии для работы с полукомплектом ДЗЛ, обеспечивающим прием пакетов данных в соответствии с МЭК61850-9-2LE1.

Устройства РЗА для классов напряжения 6-35кВ незначительно отличаются от традиционных РЗА, применяемых на данный момент в электросетевом хозяйстве.

Предлагаемая архитектура построения ЦПС подразумевает наличие горизонтального обмена логическими сигналами между РЗА 6-35кВ по средствам GOOSE сообщений.

### 3. Телеизмерения в АСУ ТП.

Для организации функции телеизмерения устанавливаются дополнительные устройства АПАС, подключающиеся к измерительным кернам трансформаторов.

Функция измерения реализуется:

- в контроллерах присоединения выключателей питающих линий для класса 110 кВ и выше;
- в терминалах РЗА с функцией контроллера ячейки для класса 6–35 кВ.

Передача измерений в АСУ ТП предполагается посредством протокола MMS.

#### 4. Синхронизация времени.

Для организации синхронизации времени оборудования ЦПС могут быть применены два варианта синхронизации времени:

- использование оптического сигнала 1PPS для синхронизации выдачи выборок в устройствах АПАС + синхронизация внутренних часов терминалов РЗА по протоколу SNTP2;
- в качестве альтернативного варианта — предлагается использование протокола PTP, обеспечивающего точную синхронизацию АПАС по информационной шине станции (шине процесса).

В качестве основного варианта синхронизации времени для данной подстанции выбран первый вариант, вследствие меньших затрат.

Необходимо отметить, что для устройств РЗА, принимающих значения электрических величин по протоколу SV, точная синхронизация внутренних часов не требуется, поэтому для них достаточно использовать протокол SNTP.

#### 5. Структура коммуникационной сети.

Для построения коммуникационной сети предлагается использовать одну из самых надежных и проверенных на сегодняшний день структуру типа «двойное кольцо» с использованием протоколов резервирования PRP и MRP.

#### 6. Регистрация аварийных событий.

Предлагается применение на подстанции подобного класса, нескольких комплектов устройств регистрации аварийных событий.

Комплекс регистрации аварийных событий на подстанции состоит из двух комплектов:

- комплект традиционного регистратора аварийных событий (запись аналоговых и дискретных сигналов);
- комплект регистратора аварийных событий по МЭК61850 (запись потоков SV, а также GOOSE сообщений).

#### 7. Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП). В качестве системы управления технологическим процессом подстанции предполагается применение ПТК Evicon на базе ПО EKRASCADA.

Обеспечивается реализация следующих функций:

- Измерение, преобразование, сбор аналоговой и дискретной информации о текущих технологических режимах и состоянии оборудования.
- Контроль и регистрация отклонения аналоговых параметров за предупредительные и аварийные пределы и вывод их на экран, фиксация их времени и значений в суточной ведомости.
- Представление текущей и архивной информации оперативному персоналу и другим пользователям на ПС (контроль и визуализация состояния оборуду-

дования ПС); отображение на мнемосхемах объекта (с динамическим изменением состояния) значений аналоговых технологических параметров, существенных для ведения режимов и отображение состояния оборудования с индикацией отклонений от нормы.

- Автоматизированное управление оборудованием ПС, в том числе коммутационной аппаратурой ПС — выключателями, разъединителями, заземляющими ножами, приводом РПН (В/Р/ЗН/РПН), технологическим оборудованием.
- Контроль состояния и дистанционное управление локальными системами автоматического управления.
- Программные блокировки управления коммутационной аппаратурой (оперативная логическая блокировка КА).
- Технологическая предупредительная и аварийная сигнализации: контроль и регистрация предупредительных и аварийных сигналов, вывод их на АРМ, фильтрация, обработка.
- Регистрация событий собственными средствами или посредством информационного обмена с автономными системами РЗА, ПА, РАС и др.
- Фиксация результатов определения места повреждения на ВЛ (ОМП) путем получения, архивирования и представления данных от автономных устройств ОМП, систем РЗА, РАС.
- Мониторинг параметров качества электроэнергии посредством информационного обмена со специализированными устройствами ПКЭ или смежными системами.
- Информационное взаимодействие с имеющимися на ПС автономными цифровыми системами (РЗА, ПА, РАС, АИИС КУЭ, КСТСБ и т.п.) по стандартным протоколам.
- Удаленное изменение состояния программных оперативных элементов систем РЗА, ПА, АСУ ТП: переключение групп уставок терминалов РЗА, оперативный ввод-вывод из работы, отключение-включение отдельных функций и др.

8. Система оперативного постоянного тока и собственных нужд подстанции (СОПТ и СН).

В составе системы оперативного постоянного тока и собственных нужд подстанций предполагается установка системы мониторинга СОПТ и СН. Интеграция данных системы мониторинга в систему АСУ ТП предполагается по протоколу МЭК61850-8-1 (MMS).

В целом стандартная комплектация для любой конкретной подстанции может различаться, но было представлено решение, которое включает в себе основные составляющие.

Подводя итоги, следует отметить. Реализация данного проекта позволит снизить потери и повысить надежность, а также повысить эффективность распределения энергетических потоков, что, в свою очередь, даст возможность не только отслеживать состояние электроэнергетической системы в целом, но и предсказывать аварийные ситуации по отклонению параметров, за счет интеллектуальной системы управления на основе нейронной технологии.

### Список литературы

1. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем: учеб. пособие для вузов / А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко. — 2-е изд., стер. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. — 336 с.
2. Решения для цифровых подстанций. НПП «Экра» URL: <https://ekra.ru/produkcija/avtomatizacia-energoobjektov-i-asu-ptk-evicon/otraslevie-technicheskie-reshenia-dla-kompleksnoy-avtomatizacii-energoobjektov/> 1091-resheniya-dlya-cifrovyh-podstanciy.html (дата обращения 01.04.2019).
3. Системы электроснабжения : учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / Б.И. Кудрин. — М.: Издательский цент «Академия», 2011. — 352 с.
4. Справочник по энергосбережению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий / под общ. ред. профессора МЭИ (ТУ) С.И. Гамазина, Б.И. Кудрина, С.А. Цырука. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. — 745 с.
5. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. ГОСТ Р МЭК 61850-7-1-2009. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200082215> (дата обращения: 28.03.2019).

УДК 654

**Ваганова Анастасия Александровна**  
Сургутский Государственный Университет

## МУЛЬТИСЕРВИСНАЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

г. Сургут

**Аннотация.** В системе образования наблюдается спрос, связанный с дистанционным доступом к цифровому образовательному контенту. Сетевая инфраструктура образовательных организаций, в настоящее время, не готова для приема, передачи и обработки таких объемов трафика контента через общедоступную сеть Интернет. В статье рассматриваются структурно-функциональные решения построения сети, типу и функциям используемого сетевого оборудования, способам подключения к сети Интернет.

**Ключевые слова:** *мультисервисная инфокоммуникационная сеть; сфера образования; топология сети.*

**Vaganova Anastasia**  
Surgut State University

## MULTISERVICE INFOCOMMUNICATION NETWORK TO SUPPORT THE ACTIVITIES OF AN EDUCATIONAL ORGANIZATION

Surgut

**Annotation.** In the education system, there is a demand associated with remote access to digital educational content. The network infrastructure of educational organizations is currently not ready to receive, transmit and process such volumes of content traffic over the public Internet. The article discusses the structural and functional solutions for building a network, the type and functions of the network equipment used, and the methods of connecting to the Internet.

**Keywords:** *multiservice infocommunication network; sphere of education; network topology.*

Вырос спрос на онлайн технологии в образовательном процессе, связанный с дистанционным доступом к цифровому контенту. Доступ к такому контенту располагается вне образовательной организации и через общедоступную сеть Интернет. Проблемы образовательной организации, которые возникают в процессе работы:

1. Предоставление качественного массового доступа к внешнему образовательному контенту внутри организации зачастую невозможно из-за плохой маршрутизации пользовательского трафика и организации надежной, защищенной и качественной доставки трафика до конкретного обучающегося.

2. Поддержание режима проведения занятий, когда обучающиеся частично или полностью переведены на домашнее обучение. Сетевая инфраструктура образовательных организаций, в настоящее время, не готова для приема, передачи и обработки таких объемов трафика.

Выход из данной ситуации состоит в разработке типового решения для образовательных организаций со среднесписочным составом 2500 обучающихся, обеспечивающий простоту и быстроту развертывания этой системы. Проектируемая система даст возможность повысить производительность труда, централизованный доступ к информационно-образовательным ресурсам, сократить время на обработку данных.

В начале выберем топологию для локально вычислительной сети (ЛВС). Она состоит из совокупности компьютеров, каналов связи, сетевых адаптеров, работающих под управлением сетевой операционной системы и сетевых программ.

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика топологии сети

Топология	Характеристика	Достоинства	Недостатки
Общая шина	Рабочие станции расположены вдоль одного участка кабеля, называемого сегментом. Предполагает использование одного кабеля, к которому подключаются все компьютеры сети. Информацию принимает только тот адрес, который соответствует адресу получателя, указанному в заголовке пакета.	Небольшая стоимость. Минимальный расход кабеля за счет использования небольшой длины для работы. Быстрая настройка конфигурации. Сеть остается работоспособной даже при выходе из строя одного компьютера. Все компьютеры в сети имеют равный доступ.	Низкая производительность и надежность сети при большом количестве компьютеров. Обрыв кабеля влияет на работоспособность всей сети. Для устранения обрыва используют специальное устройство.
Кольцо	Каждая станция соединена с двумя другими станциями, образуя кольцо. Данные	Быстрая настройка конфигурации. Все компьютеры в сети	Низкая производительность и надежность сети

	передаются последовательно от одного компьютера к другому; если один компьютер получает данные, предназначенные для другого компьютера, то он передает их дальше (по кольцу), а если данные адресованы именно этому компьютеру, то он их принимает и обрабатывает.	имеют равный доступ. Сеть остается работоспособной даже при выходе из строя одного компьютера. Небольшая стоимость.	при большом количестве компьютеров. Трафика станет настолько много, что сеть начнет тормозить, а пакеты теряться.
Звезда	Все компьютеры присоединены к центральному компьютеру, который устанавливает, поддерживает и разрывает связи между рабочими станциями.	При выходе из строя одного из компьютеров сеть продолжает функционировать. Управление происходит с центрального компьютера. Производит контроль трафика, безопасность. Сеть работоспособна с большим количеством компьютеров.	Большой расход кабеля. Высокая стоимость. При поломке центрального компьютера сеть выходит из строя.

Для локально вычислительной сети была выбрана топология «Звезда», потому что компьютеры сети напрямую подключены к коммутатору, который связан с сервером. Любой запрос проходит через коммутатор и непосредственно попадает на сервер. Однако, выбранная топология требует больших финансовых затрат, но они окупаются скоростью и работоспособностью сети.

Для организации сети из сетевых технологий (Ethernet, Token-Ring, ArcNet, FDDI) будет использоваться стандарт Fast Ethernet. В качестве реализации будет использоваться 100Base-TX, который обеспечивает передачу данных со скоростью 100 Мбит/с по кабелю, состоящему из двух витых пар 5-й категории. Передача данных ведется в каждом направлении по одной витой паре, обеспечивая до 100 Мбит/с с общей пропускной способностью в дуплексе. Длина линии связи ограничена 100 метрами, что допустимо для нашей сети.

Затем построим структурную схему сети, которая наглядно предоставляет топологию и взаимосвязь между всеми элементами.

Ядро сети состоит из связанных между собой сетевых коммутаторов. К Главному коммутатору подключается Головной внутренний сервер, Сервер 1, Сервер 2 и остальные коммутаторы. Сервер 1 и Сервер 2 — это два внутренних сервера, которые являются: базой данных, резервным копированием данных, почтой и доменом. Далее маршрутизатор связывает сегменты сети и на основе таблицы маршрутизации, отправляет данные адресатам. Внешнюю (глобальная сеть Интернет) и внутреннюю сеть (сеть организации) разделяет «межсетевой экран». Любая поступающая во внутреннюю сеть информация фильтруется этим экра-

ном. Далее через общедоступную сеть Интернет Удаленные пользователи могут подключиться к внутренней сети организации.

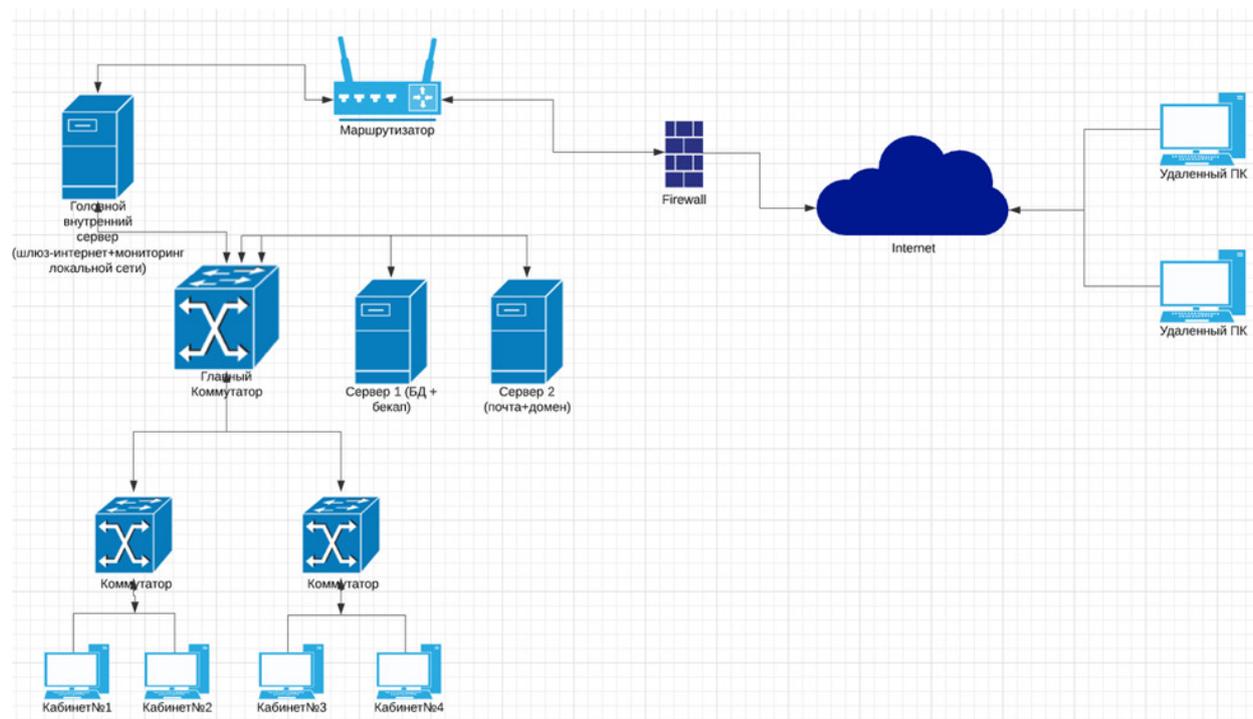


Рисунок 1. Структурная схема сети с внутренним сервером

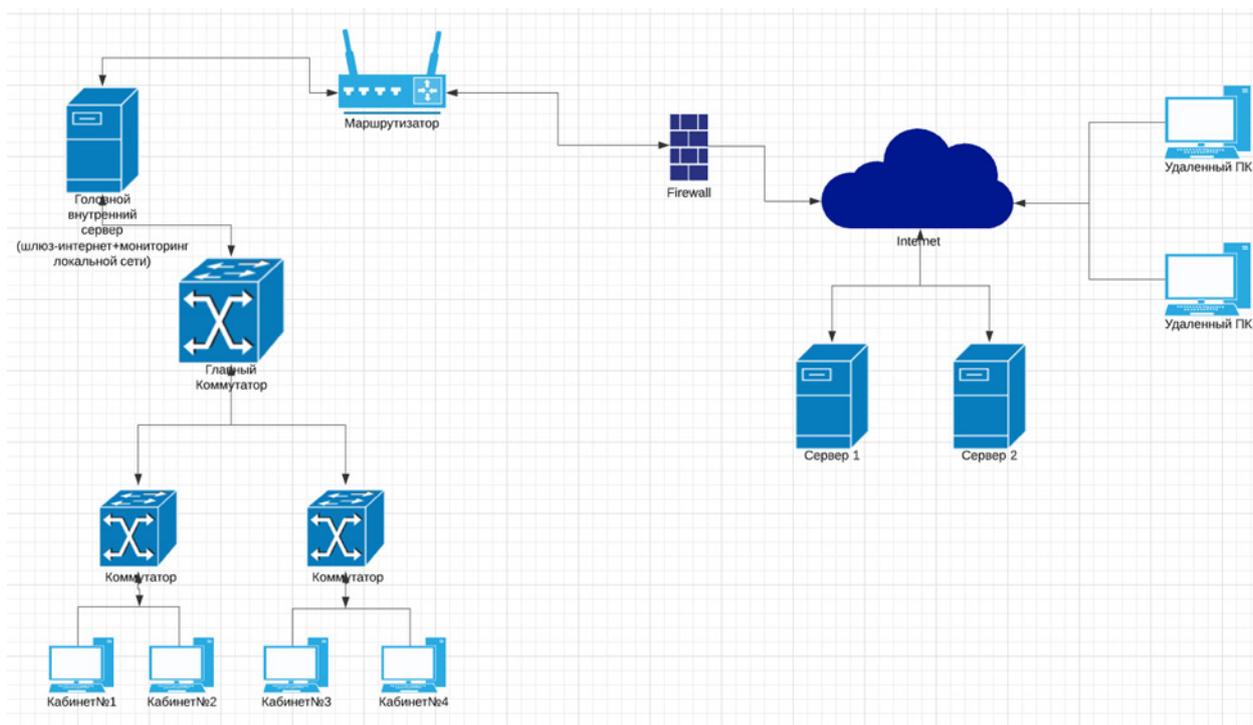


Рисунок 2. Структурная схема с внешним сервером

Ядро сети состоит из связанных между собой сетевых коммутаторов. К Главному коммутатору подключается Головной внутренний сервер и остальные коммутаторы. Далее маршрутизатор связывает сегменты сети и на основе таблицы маршрутизации, отправляет данные адресатам. Внешнюю (глобальная сеть Интернет) и внутреннюю сеть (сеть организации) разделяет «межсетевой экран». Любая поступающая во внутреннюю сеть информация фильтруется этим экраном. Далее через общедоступную сеть Интернет Удаленные пользователи могут подключиться к внутренней сети организации. Сервер 1 и Сервер 2 — это внешние сервера (арендованные), обратиться к ним можно только через глобальную сеть Интернет.

Перед нами стал вопрос о выборе внутреннего или внешнего сервера.

Сервер — это мощный компьютер, предназначенный для хранения информации и обеспечения доступа к ней с удаленных устройств.

**Таблица 2.** Достоинства и недостатки внутреннего и внешнего сервера

	<b>Внутренний сервер</b>	<b>Внешний сервер</b>
Достоинства	Быстрый отклик запрос-ответ при больших массивах данных. При отключении общедоступной сети Интернет доступ к серверу не пропадает. Корпоративная безопасность базы данных.	Не нужно закупать дорогостоящего оборудования, программного обеспечения, иметь в штате системного администратора. Арендованный сервер дает готовую инфраструктуру, не требует долгих настроек и установок. Арендованный сервер постоянно обновлен до последней версии, не требует платы за обновление и переустановку платформы.
Недостатки	Трата электроэнергии, а также покупка ИБП (источник бесперебойного питания). Покупка дорогостоящего оборудования, расходные материалы, требование постоянного обновления программного обеспечения, иметь в штате системного администратора.	Ежемесячная оплата аренды серверов. При отсутствии общедоступной сети Интернет пропадет доступ к базе. При большом потоке данных важна скорость интернет-трафика, от этого будет зависеть запрос-ответ.

Для сети была выбрана покупка внутреннего сервера, так как для работы с большим массивом данных он просто необходим.

Подберем необходимое оборудование согласно поставленной цели.

В качестве Сервера 1 предполагается использование Сервер Lenovo ThinkSystem ST550 [7X10A0D4EA].

**Таблица 3.** Основные характеристики Сервера Lenovo ThinkSystem ST550 [7X10A0D4EA].

Модель	Lenovo ThinkSystem ST550 [7X10A0D4EA]
Процессор	Intel Xeon Silver 4210R
Объем установленной оперативной памяти / Количество слотов для ОЗУ/ Максимальный возможный объем ОЗУ	16 ГБ / 12шт / 768 ГБ
Количество отсеков для накопителей	20 шт
Скорость передачи данных Ethernet	1000 Мбит/сек
Габариты	Ширина 438 мм; Глубина 670 мм Высота 176 мм Вес 36 кг

В качестве Сервера 2 предполагается использование Сервер Lenovo ThinkSystem ST250 [7Y45A03QEA].

**Таблица 4.** Основные характеристики Сервер Lenovo ThinkSystem ST250 [7Y45A03QEA]

Модель	Lenovo ThinkSystem ST250 [7Y45A03QEA]
Процессор	Intel Xeon E-2224
Объем установленной оперативной памяти / Количество слотов для ОЗУ// Максимальный возможный объем ОЗУ	16 ГБ / 4шт / 128 ГБ
Количество отсеков для накопителей/ /Максимально возможный объем накопителей	8 шт / 64 Т
Скорость передачи данных Ethernet	1000 Мбит/сек
Габариты	Ширина 175 мм; Глубина 566 мм Высота 430 мм Вес 23,56 кг

В качестве Сетевых коммутаторов предполагается использование Коммутатора D-Link DGS-1510-20/A1A.

**Таблица 5.** Основные характеристики Коммутатора D-Link DGS-1510-20/A1A

Модель	D-Link DGS-1510-20/A1A
Базовая скорость передачи данных / Количество портов	100 Мбит/сек, 1000 Мбит/сек / 16

Размер таблицы MAC адресов	8192
Внутренняя пропускная способность	76 Гбит/сек
Поддержка стандартов	IEEE 802.3az Energy-Efficient Ethernet, IEEE 802.3u, IEEE 802.1d (STP, QoS), IEEE 802.3ab, IEEE 802.3, Auto MDI/MDIX, 802.1w (RSTP), IEEE 802.3ad (Link Aggregation), IEEE 802.1AB LLDP
Габариты	Ширина 280 мм; Глубина 180 мм Высота 44 мм Вес 1240 г

В качестве Маршрутизатора предполагается использование Маршрутизатор D-Link DSR 1000/A1A.

**Таблица 6.** Основные характеристики Маршрутизатора D-Link DSR 1000/A1A

Модель	D-Link DSR 1000/A1A
Скорость передачи по проводному подключению	1000 Мбит/с
Габариты	Ширина 280 мм; Глубина 180 мм Высота 44 мм Вес 1500 г

В качестве кабеля будет использоваться 4-х парный кабель, категории 5Е. скорость передачи данных до 1000 Мб/с при использовании 4 пар.

Наименование необходимого оборудования.

**Таблица 7.** Список и стоимость оборудования

Наименование	Цена
Сервера Lenovo ThinkSystem ST550 [7X10A0D4EA]	199 999 Р
Сервер Lenovo ThinkSystem ST250 [7Y45A03QEA]	94 999 Р
Коммутатора D-Link DGS-1510-20/A1A	15 999 Р
Маршрутизатор D-Link DSR 1000/A1A	19 999 Р

### Список литературы

1. Информационно-вычислительные сети: учебное пособие / Д. А. Капустин, В. Е. Дементьев. — Ульяновск: УлГТУ, 2011. — 141с.
2. Все про WiFi и беспроводные сети // Топологии локальных сетей: определение, значения, виды, типы, функции;  
URL: <https://wifigid.ru/poleznoe-i-interesnoe/topologiya-lokalnoj-seti>.

3. Основы сетевых технологий : учеб. пособие для нач. проф. образования / С. В. Киселев, И. Л. Киселев. — 2-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2012. — 64 с.
4. Руденков Н.А., Долинер Л.И. Основы сетевых технологий: Учебник для вузов. Екатеринбург: Изд-во Уральского. Федерального ун-та, 2011. — 300 с.
5. Телекоммуникационное оборудование и средства связи / Мальтима Телеком // 100BASE-TX;  
URL: [https://www.maltima.ru/library/encyclopedias/1/100base\\_tx/](https://www.maltima.ru/library/encyclopedias/1/100base_tx/).
6. Новости технологий, обзоры гаджетов, смартфонов, бытовой техники и автомобилей // Описание технологии Fast Ethernet;  
URL: <https://www.ixbt.com/comm/tech-fast-ethernet.shtml>.

УДК 654

*Федоровский Иван Михайлович*

Сургутский государственный университет

## СИСТЕМА СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО РАДИОКАНАЛУ 5G

г. Сургут

**Аннотация.** На данный момент в мире существует четыре поколения мобильной связи. Считается, что пятое поколение мобильной связи появится к 2020 году. Объяснить это достаточно просто: существует, так называемое, правило десяти лет. Если заглянуть немного в прошлое, можно заметить, что каждое новое поколение мобильной связи появлялось примерно через 10 лет после появления предыдущего: первое поколение появилось в начале 80-х годов, второе в начале 90-х, третье в начале 00-х, четвертое в 2009 году. Напрашивается вывод, что первые сети 5G появятся примерно в 2020 году.

В настоящее время ведутся программы по разработке основных очертаний стандарта пятого поколения. Именно поэтому точного определения 5G пока дать нельзя, можно лишь предугадать, какими станут сети после 2020 года.

Очевидно, что в будущем к сети будет подключено гораздо больше устройств, большинство из которых будут работать по принципу «всегда онлайн». При этом очень важным параметром будет являться низкое энергопотребление.

### 1. Виртуализированная архитектура 5G

Мобильные технологии прочно вошли в нашу жизнь и продолжают укреплять свои позиции. Сети мобильной связи — это сети операторов, обеспечивающие голосовую связь и выход в интернет с одной стороны, а с другой стороны — многообразный спектр гаджетов, датчиков и умных устройств: от смарт-трекеров в настоящем до умных кофеварок, автомобилей и целых городов в скором будущем.

Согласно правилу 10 лет, каждое десятилетие сменяется поколение мобильной связи. Но даже один стандарт в рамках 10 лет не стоит на месте. Например, четвертое поколение классифицируют на технологии LTE, LTE-A; WiMAX; 4, 5G и другие. Если опираться на правило, для господства 4G есть еще около трех-четырёх лет. В то же время, все чаще появляется информация о инновациях для сетей 5G и тестировании pre-5G сетей. От некоторых вендоров и операторов поступают амбициозные заявления развернуть их в течение 2018-2020 гг.

На сегодняшний день официальные стандарты 5G не сформированы. Передовые игроки мирового телекоммуникационного рынка, среди которых Qualcomm, Huawei, Ericsson, Verizon, AT&T, Nokia и другие, предлагают свои концепции будущих сетей, тестируя их прототипы.

Ключевой особенностью каждого поколения, о которой заявляют в первую очередь, является скорость передачи данных. Однако это не единственная характеристика. С учетом развития Интернета вещей и, как следствие, увеличения количества подключенных устройств, а также с постоянно возрастающим объемом потребляемого трафика определены следующие требования к пятому поколению:

- Пропускная способность сети свыше 10 Гбит/сек.
- Поддержка одновременного подключения до 100 млн. устройств/км<sup>2</sup>.
- Задержка передачи данных не более 1 мс.
- Распределение между различными услугами необходимого частотного ресурса.

Эффективной технологией, которая позволит сократить объем операторского оборудования и упростить обслуживание инфраструктуры, может стать программно-конфигурируемая сеть SDN (Software-Defined Networks). SDN способствует цифровой трансформации компаний и переводу сервисов на облачные технологии. Фундаментальный принцип работы Software-Defined Networks — это дистанционное управление сетью и устройствами передачи данных, т.е. программно.

В свою очередь предполагается, что виртуализация сетевых функций NVF (Network Functions Virtualization) позволит виртуализировать различные функции многих сетевых элементов операторов мобильной связи, а также реализовать «сеть по запросу». Т.е. обрабатываться и храниться данные будут в виртуальной среде («в облаке»). За классическим оборудованием останется функция передачи пользовательского трафика. Такой подход к организации сетей пятого поколения отвечает прослеживающимся тенденциям беспроводной связи, а именно конвергентности. Конвергентность предполагает интеграцию обособленных объектов сети в единый вычислительный комплекс. Это в том числе важно и для «умных» устройств в целях обмена информацией в режиме онлайн.

Для организации определенного участка сети операторы применяют уже проработанные решения с набором необходимых параметров и конкретным оборудованием. Виртуализация 5G и сети «по запросу» позволит заранее организовать серверы и ДАТА-центры для операторов, т.е. предоставит для них «коробочное» решение, значительно сократив временные и финансовые издержки на внедрение новых услуг.

Относительно сетевой архитектуры в пятом поколении выделяют три «облачных» кита, обеспечивающих его работу.

## 2. Потенциальные технологии в стандарте 5G

Ожидается, что сети 5G позволят подключать множество устройств, способных устанавливать миллиарды соединений, за счет чего станет возможно создавать новые сервисы в:

- секторе ИТ и телекома,
- автомобильной отрасли,
- индустрии развлечений,
- образовании,
- сельском хозяйстве и многих других.

За счет сетей пятого поколения также можно будет улучшить качество использования уже существующих сервисов, где задействованы большие объемы трафика.

Теодор Сайзер (Theodore Sizer), вице-президент по разработке беспроводных технологий в Bell Labs отмечал, что в сетях 5G будет работать множество самых разнообразных устройств. Смартфоны и планшеты никуда не денутся, но, помимо них, в сети появится целый «зоопарк» различных устройств, включая камеры видеонаблюдения, погодные датчики, датчики «умных» электрических сетей, «умные» дома и автомобили.

### 1. Массивные ММО

Технология ММО означает использование нескольких антенн на приемопередатчиках. Технология, успешно применяемая в сетях четвертого поколения, найдет применение и в сетях 5G. При этом если в настоящее время в сетях используется ММО 2x2 и 4x4, то в будущем число антенн должно увеличиться. Эта технология имеет сразу два весомых аргумента для применения: 1) скорость передачи данных возрастает практически пропорционально количеству антенн, 2) качество сигнала улучшается при приеме сигнала сразу несколькими антеннами за счет разнесенного приема (Receive Diversity).

### 2. Переход в сантиметровый и миллиметровый диапазоны

На данный момент сети LTE работают в частотных диапазонах ниже 3, 5 ГГц. Для полноценного функционирования сетей мобильной связи стандарта 5G необходимо разворачивать сети в более свободных высокочастотных диапазонах. При повышении частоты, на которой передается информация, уменьшается дальность связи. Это закон физики, обойти его можно лишь повышая мощность передатчика, которая ограничена санитарными нормами. Однако считается, что базовые станции сетей пятого поколения будут располагаться плотнее, чем

сейчас, что вызвано необходимостью создать гораздо большую емкость сети. Преимуществом диапазонов десятков ГГц является наличие большого количества свободного спектра.

### 3. *Мультитехнологичность*

Для обеспечения высококачественного обслуживания в сетях 5G необходима поддержка как уже существующих стандартов, таких как UMTS, GSM, LTE, так и других, например, Wi-Fi. Базовые станции, работающие по технологии Wi-Fi могут использоваться для разгрузки трафика в особо загруженных местах.

### 4. *D2D (Device-to-device)*

Технология device-to-device позволяет устройствам, находящимся неподалеку друг от друга, обмениваться данными напрямую, без участия сети 5G, через ядро которой будет проходить лишь сигнальный трафик. Преимуществом такой технологии является возможность переноса передачи данных в нелицензируемую часть спектра, что позволит дополнительно разгружать сеть.

Также можно будет использовать на новом уровне приложения виртуальной и дополненной реальности, отмечают в SK Telecom. Например, включать элементы дополненной реальности в образовательный процесс, создавая виртуальные музеи и модели вселенной в классах.

В проектах «умных городов» 5G позволит в режиме реального времени передавать информацию с гораздо большего числа сенсоров на различных объектах. Старший директор Qualcomm по продуктовому менеджменту мобильных технологий Санджив Атали (Sanjeev Athalye) отмечает, что можно будет развернуть тысячу сенсоров вместо сотни, для обслуживания которых будет достаточно меньшего количества базовых станций, чем при существующих ныне сетях. Это могут быть, например, сенсоры мониторинга состояния объектов ЖКХ, сенсоры «умного освещения» или сенсоры звука, установленные в целях безопасности и соблюдения порядка в городе. В последнем случае сенсоры могут фиксировать подозрительные или слишком громкие звуки, и данная информация будет автоматически передаваться в службы охраны правопорядка.

Новые сервисы с использованием 5G могут быть реализованы и в медицине. Например, для организации удаленного мониторинга состояния пациентов. Врач сможет оперативно получать информацию со специальных сенсоров и следить за состоянием пациентов круглые сутки.

Благодаря очень низким задержкам передачи данных 5G также откроет больше возможностей для удаленного проведения операций с использованием робота. Такой сервис особенно актуален для небольших населенных пунктов, где нет хирургов на местах: управляя манипуляциями робота, операцию может провести специалист, находящийся в совершенно другом месте. За счет 5G такой сервис можно будет развернуть в беспроводных сетях.

Низкая задержка данных, которую способны обеспечить сети нового поколения, важна и для развертывания «умных» сетей электропередач. Использование датчиков позволит мгновенно обнаруживать повреждения на линии электропередач и блокировать распространение последствий повреждения дальше по линии. Таким образом, повреждение затронет меньшее число потребителей электроэнергии.

В крупных производственных компаниях, в ритейле, логистике 5G даст возможность использовать больше промышленных роботов, выполняющих различные функции вместо людей, а также дронов. Последние уже сейчас используются на некоторых производствах, но чаще всего управляются с использованием сетей Wi-Fi. 5G позволит охватить большую дистанцию, чем сети Wi-Fi, а благодаря низким задержкам — повысить стабильность работы таких систем.

В пример сервисов, для которых будет иметь преимущество 5G, можно привести и городские системы видеонаблюдения. 5G поможет упростить их развертывание и использование. Сейчас трафик с тысяч камер в городах, в основном, передается по фиксированным сетям. Развернуть такую инфраструктуру — непростая задача, поскольку требуется уложить множество проводов. С помощью 5G можно будет получать терабайты видео высокого разрешения без использования проводов.

Еще один пример — сервис мониторинга транспорта в компаниях. Санджив Атали из Qualcomm полагает, что с появлением сетей нового поколения операторы, выступающие провайдерами такого сервиса, смогут снизить его стоимость. Это станет возможным за счет того, что стоимость одной базовой станции 5G будет ниже стоимости станций для существующих сетей, а также за счет того, что одна базовая станция сможет одновременно обслуживать большее количество устройств, соответственно, для сервиса потребуется меньше базовых станций.

### **3. Будущее медицины с развитием 5G**

Технология 5G (со скоростью Интернета более чем 100 мегабайт в секунду) в скором времени позволит объединять различные технологические устройства и сервисы, что приблизит реальность наступления эры Интернета вещей. Это заставляет специалистов и обывателей все чаще задумываться о том, каким станет мир с этой технологией.

Одним из важных направлений, в котором технологии могут принести заметную пользу обществу, является здравоохранение.

Использование сенсоров и удаленно работающих медицинских устройств предоставят пациентам в отдаленных регионах доступ к передовым медицинским сервисам. Развитие видеоконференций и телемедицины, удаленной диа-

гностики и удаленной хирургии позволит не только преодолеть географический разрыв в предоставлении медицинских услуг, повысить эффективность оказания медицинской помощи в чрезвычайных ситуациях, но и снизить стоимость услуг для пациентов. Объединенные с помощью скоростного Интернета медицинские устройства смогут собирать и передавать данные о пациентах на расстоянии за считанные секунды.

Повышение юзабилити медицинских устройств, использование больших данных способно повысить точность медицинских диагнозов и снизить количество медицинских ошибок по вине человеческого фактора.

Нательные измерительные устройства уже сегодня стали частью жизни многих пациентов. Использование возможностей телемедицины и применение робототехники в медицине будущего позволит, например, проводить хирургические операции пациентам, находящимся в трудно доступных регионах, в зонах конфликта, где нет доступа к медицинским учреждениям.

Один из примеров успешного применения телемедицины сегодня — бостонская программа организации Partners Healthcare в США, которая помогла более чем трем тысячам больных с заболеваниями сердца использовать домашние приборы для измерения веса, давления и других физических показателей, автоматически направляя эти данные врачам. Специально разработанное программное обеспечение значительно облегчило жизнь пациентов и врачей, снизив количество личных приемов пациентов у врача на 44 процента, что в итоге позволило больнице сэкономить 10 миллионов долларов.

Согласно исследованию консалтингового агентства McKinsey, проведенному в 2015 году, использование аналитики больших данных позволит системе здравоохранения США сэкономить от 350 до 450 миллиардов долларов, оптимизируя расходы по использованию медицинского оборудования, рабочего времени врачей и назначения фармакологических препаратов. Это позволит снизить расходы на медицинское обслуживание для пациентов, даст им возможность получать консультации от лучших врачей и передовое медицинское обслуживание в тех регионах, где пока нет больниц с высокотехнологичным оборудованием.

Объем рынка мобильных технологий и приложений для медицинской диагностики, по оценкам американских экспертов, опубликованным в журнале *Trends in Biotechnology* в минувшем году, достигнет 27,6 миллиардов долларов США к 2018 году.

В середине июля в вашингтонском Институте Брукинга прошла панельная дискуссия о проблемах 5G, Интернета вещей и будущем медицины, в которой приняли участие представители госучреждений, бизнеса, науки и здравоохранения.

Участники дискуссии пытались найти ответы на вопросы: как Интернет вещей повлияет на будущее медицины? Позволит ли использование более

совершенного, объединенного в умную сеть медицинского оборудования снизить количество медицинских ошибок и повысить эффективность медицинских услуг?

Мнения государственных регуляторов и представителей бизнеса на то, каким должно быть будущее технологий в медицине, различались.

Если предпринимателей, иноваторов и инновационные компании в первую очередь интересует технический прогресс и возможность заработать на нем, то регуляторов больше волнуют потенциальные угрозы и риски для государства, например, вопросы безопасности и конфиденциальности собираемых с помощью технологий персональных данных и возможности их контроля.

Боб Роджерс (Bob Rogers), директор центра Big Data Solution, Intel, считает, что технологии Интернета вещей значительно повысят своевременность оказания медицинских услуг. Пациенты смогут получать медицинскую помощь, когда она им нужна и где она им нужна, получать помощь в режиме реального времени. В более соединенном мире медицина станет более совершенной. Анализ данных в эпоху 5G сделает каждое устройство умнее, так как они будут соединены в одну общую сеть. Врачи смогут получить доступ к более точной и полной информации о каждом пациенте».

С ним не согласен Роб Хаваси (Rob Navasy), директор и вице-президент медицинского альянса Personally Connected: «Когда все становится объединенным, всегда есть риск, что каждое устройство может быть использовано для какой угодно цели. Мы должны помнить о важности безопасности личных данных пациентов, знать, кто и когда получит доступ к ним и как будет их использовать. Идентификация — это ключевой аспект в использовании личных данных. В эпоху, когда технологии развиваются так быстро, регулирование должно тоже становиться быстрым».

По мнению Адама Тайрера (Adam Thierer), профессора центра Меркатус в Университете Джорджа Мейсона (Mercatus Center, George Mason University) и автора книги «Безграничные инновации», инновации, для их наибольшей эффективности, должны развиваться без всяческого регулирования и участия со стороны государства, которое часто тормозит их развитие введением преждевременных и избыточных регуляторных стандартов. «Нельзя заранее регулировать то, что мы пока не совсем понимаем», — отмечает профессор Тайрер.

#### **4. 5G в эволюции автомобилей**

Самоуправляемые транспортные средства — еще одна область, реализация которой потребует сетей связи нового поколения. Автомобили можно будет оснастить сенсорами, считывающими всевозможную информацию о дорожной об-

становке: ближайших транспортных средствах, погодных условиях, состоянии асфальта, дорожных знаках и др. На основе этих данных управление поездкой можно осуществлять в автоматическом режиме.

Помимо удобства для водителя машины, оснащение сенсорами автомобилей открывает новые возможности для повышения безопасности на дорогах. По сетям 5G автомобили смогут коммуницировать между собой и принимать мгновенные решения, что делать в той или иной ситуации на основе информации, полученной от других транспортных средств на дороге. Например, автомобиль мог бы пересылать сигнал о своем резком торможении, так чтобы машина, с которой из-за этого угрожает столкновение, могла также резко затормозить в автоматическом режиме. В сетях 4G реализовать такой сервис невозможно, поскольку задержка сигнала слишком велика, чтобы управлять автомобилем в режиме реального времени, считает Санджив Атали из Qualcomm.

В июне 2016 года ABI Research опубликовала прогноз, согласно которому к 2025 году около 67 млн автомобилей будут использовать сервисы 5G.

Три миллиона из них — самоуправляемые автомобили. Технология 5G, благодаря более быстрому отклику, станет предпочтительной для широкополосного потокового мультимедиа, отправки диагностической информации сервисному центру, использования в системах V2X (Vehicle-to-Everything — система обмена данными между автомобилем и другими объектами дорожной инфраструктуры, например, с автомобилями, дорожными знаками, разметкой, светофорами; инфраструктура также должна быть подключена к интернету).

Чтобы технология V2X стала реальностью, две области — автомобильная и телекоммуникационная, должны расширить зону охвата 5G-сигнала и обеспечить уверенный приём. ABI Research ожидает, что это станет вполне реальным к 2025 году. 5G позволит мобильным операторам внедрить больше услуг с добавленной стоимостью для автомобильной экосистемы. Аналитики ABI Research ожидают появления новых бизнес-моделей и новых возможностей для автомобильной отрасли благодаря низкой задержке при установке соединения — до 1 мс.

### **Заключение**

В 2016 году игроки мирового рынка ожидают появления стандарта сетей 5G в 2018 году, а их развертывания для коммерческого использования — в 2020 году. Пока стандарт не разработан, 5G остается концепцией, в которой сети нового поколения отличаются от предшествующих технологий значительно более высокой пропускной способностью — как минимум в 10 раз выше, чем LTE и способностью передавать большие объемы данных с намного меньшей задержкой.

Задержка передачи информации в 5G — менее 1 миллисекунды, в то время как в сетях LTE — 10–20 миллисекунд. Кроме того, сети 5G будут обладать большей гибкостью и способностью «подстраиваться» под абонентское устройство.

Для России сети 5G в большей степени в проектах. Еще не разработаны стандарты, которые лягут в их основу. «Сложность состоит в том, что 5G будут использовать высокочастотные диапазоны, а значит, плотность базовых станций для достаточного покрытия увеличивается, что сразу поднимает порядок инвестиций в сети, создает сложность с созданием абонентских устройств. Кроме того, российские операторы должны окупить те затраты, которые они уже сделали в 4G. Есть данные, что в России только 20-25 процентов купленных смартфонов поддерживают стандарт 4G, поэтому о внедрении сетей 5G в стране еще очень рано думать».

### Список литературы

1. 5G WORLD SUMMIT — 2014: Курс прежний — ОТ 4G К 5G Тихвинский В.О. Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 7. С. 95-96.
2. ИННОВАЦИИ: 5G WORLD SUMMIT: «Достойная старость» 2G на фоне бурного роста 5G. Валерий Тихвинский ОБ ИТОГАХ 5G WORLD SUMMIT. Тихвинский В. Электросвязь. 2015. № 10. С. 18-21.
3. Перспективы развития связи 5G. Олейникова А.В., Нуртай М.Д., Шманов Н.М. Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 2 (2). С. 233-235.
4. 5G — Работа над ошибками предыдущих поколений Мельник С.В. Вестник связи. 2014. № 7. С. 29-30.
5. Потребность в 5g. проблемы разработки и тестирования. Вайтакр Я. Вестник связи. 2014. № 8. С. 4-6.
6. 4G пишем, 5G в уме. Ганьжа Д. Журнал сетевых решений LAN. 2014. № 4. С. 1-3.

УДК 654

*Слепенко Ю.Ю., Аралов А.А., Бондарев Д.С., Рыжаков В.В.*

Сургутский государственный университет

## ОЦЕНКИ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ В ЗАДАЧАХ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

г. Сургут

**Аннотация.** В работе представлены результаты сравнительного анализа пяти подходов к построению оценок одномерных функций плотности вероятности случайной величины, которые могут использоваться в предварительной обработке данных для решения задач машинного обучения. Приводятся результаты экспериментального сравнения на выборках из нормального распределения при имитационном моделировании, а также на выборках, полученных из натурального эксперимента по передаче пакетов данных в модельной сети с коммутацией пакетов с безальтернативным маршрутом следования пакетов.

**Ключевые слова:** *машинное обучение, функция плотности вероятности, модельная сеть, коммутация пакетов, операторная оценка.*

*Slepenko Yu. Yu., Aralov A. A., Bondarev D. S., Ryzhakov V. V.*

Surgut State University

## ESTIMATES OF THE PROBABILITY DENSITY FUNCTION IN MACHINE LEARNING PROBLEMS

Surgut

**Annotation.** The paper presents the results of a comparative analysis of five approaches to constructing estimates of one-dimensional probability density functions of a random variable, which can be used in preprocessing data for solving machine learning problems. The results of an experimental comparison are given on samples from a normal distribution during imitation modeling, as well as on samples obtained from a natural experiment on the transmission of data packets in a model network with packet switching with no alternative packet route.

**Keywords:** *machine learning, probability density function, model network, packet switching, operator estimate.*

При построении алгоритмов управления информационными потоками в цифровых сетях связи пакетной коммутации зачастую возникает проблема оценки статистических свойств некоторых параметров качества обслуживания этих информационных потоков, которые используются системами управления сетями электросвязи при решении задач оптимизации распределения нагрузки на сеть. В частности, если обслуживаемый сетью электросвязи информационный поток представляет собой поток мультимедиа данных (например, аудио или виде цифровой сигнал), то одним из важных контролируемых параметров качества обслуживания для этого потока является время задержки передачи пакетов данных этого потока по сети связи. Хорошо известно, что в цифровых сетях связи, работающих в режиме коммутации пакетов, время прохождения пакетов по сети представляет собой случайную величину. Поэтому оценку этого времени можно производить только с учётом его статистических свойств.

Наиболее полную информацию о статистических свойствах времени запаздывания передачи пакетов данных по сети даёт его функция плотности вероятности. Причём, для успешного решения задач оперативного управления сетями связи необходимо получение оценки этой плотности вероятности в процессе их функционирования, т.е. по ходу передачи данных по сети. Получение явного аналитического выражения для функции плотности вероятности, хотя и является теоретически интересной математической задачей, однако отнимает много времени и не подходит для решения задач оперативного управления. Поэтому в настоящее время актуальными являются исследования, направленные на разработку алгоритмов, позволяющих формировать универсальные оценки функций плотности вероятности по выборке наблюдений случайной величины конечного объёма  $X^{(P)} = \{x_1, \dots, x_p\}$ ,  $P$  — объём выборки. Универсальность этих оценок заключается в том, что они позволяют получить оценку функции плотности вероятности для случайной величины с любыми статистическими свойствами. Общий вид этих оценок остаётся неизменным — меняются только их параметры.

В настоящей работе исследуются и сравниваются между собой пять подходов к построению оценок одномерных функций плотности вероятности случайной величины. Экспериментальное сравнение проводится на выборках из нормального распределения, а, кроме этого, и на выборках, полученных из натурального эксперимента по передаче пакетов данных в модельной сети с коммутацией пакетов с безальтернативным маршрутом следования пакетов.

## 1. Варианты построения оценок функции плотности вероятности

В настоящее время при описании различных случайных процессов, протекающих в сетях передачи данных пакетной коммутации, достаточно широко исполь-

зуется так называемая парзеновская оценка функции плотности вероятности с функциональными ядрами различного вида. В частности, в [1] выполнялся анализ следующих парзеновских оценок функции плотности вероятности:

$$\hat{f}_\Theta(x) = \sum_{j=1}^P \frac{1}{2 \cdot P \cdot \sqrt{\alpha}} \cdot e^{-\frac{|x-z_j|}{\sqrt{\alpha}}}, \text{ — парзеновская оценка с экспоненциальным ядром.} \quad (1)$$

$$\hat{f}_E(x) = \begin{cases} \frac{1}{P \cdot \sqrt{\alpha}} \cdot \sum_{j=1}^P \frac{3}{4} \cdot (1 - (t_j)^2), & |t_j| \leq 1, \\ 0, & |t_j| > 1. \end{cases} \text{ — парзеновская оценка с ядром Епанечникова.} \quad (2)$$

$$\hat{f}_\Gamma(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \frac{1}{P \cdot \sqrt{\alpha}} \cdot \sum_{j=1}^P e^{-\frac{r_j^2}{2}}, \text{ — парзеновская оценка с гауссовым ядром.} \quad (3)$$

В выражениях (1) — (3):  $t_j = \frac{x - z_j}{\sqrt{\alpha}}$ ,

В [1, 2] также предлагается в качестве оценки функции плотности вероятности использовать оценку вида:

$$\hat{f}_H(x) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[ \left( \sum_{j=0}^{P-1} \text{sign}(x - z_j) \cdot \lambda_j \cdot e^{-\frac{|x-z_j|}{\sqrt{\alpha}}} \right) + \frac{1}{z_p - z_{p-1}} \cdot e^{-\frac{|x-z_p|}{\sqrt{\alpha}}} \cdot \text{sign}(x - z_p) - \right. \quad (4)$$

$$\left. - \frac{1}{z_1 - z_0} \cdot e^{-\frac{|x-z_0|}{\sqrt{\alpha}}} \cdot \text{sign}(x - z_0) + \left( 2 \cdot \sum_{j=0}^{P-1} \frac{1}{(z_{j+1} - z_j)} \cdot (\theta(z_{j+1} - x) - \theta(z_j - x)) \right) \right],$$

где —  $\theta(x)$  единичная ступенчатая функция (функция Хевисайда),

$\lambda_j = \frac{1}{(z_j - z_{j-1})} - \frac{1}{(z_{j+1} - z_j)}$ , а  $\alpha$  — параметр регуляризации.

В выражениях (1) — (4)  $z_j$  — это границы отрезков, полученных по правилу:

$$\begin{cases} z_0 = 2 \cdot \tilde{x}_1 - \tilde{x}_2, \\ z_j = \frac{\tilde{x}_{j+1} + \tilde{x}_j}{2} + \tilde{x}_j, \quad j = (1, \dots, P-1), \\ z_p = \tilde{x}_p; \end{cases} \quad (5)$$

где  $\tilde{x}_j$  — элементы выборки  $\tilde{X}^{(P)} = \{\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_p\}$ , полученной из выборки  $X^{(P)}$  путём упорядочивания её элементов по возрастанию.

В [3] для оценки функции плотности вероятности предлагается использовать оценку, названную операторной оценкой функции плотности вероятности:

при нечетном  $k^* = 2 \cdot k - 1$ ,  $k = 1, 2, \dots$ :

$$\hat{p}_\phi(x) = \frac{1-\eta}{(2\cdot k-1)\cdot 2\cdot h} \cdot \left( \hat{F}(x_{(2\cdot(t+k-1))}) - \hat{F}(x_{(2\cdot(t-k))}) \right) + \frac{\eta}{4\cdot k\cdot h} \cdot \left( \hat{F}(x_{(2\cdot(t+k))}) - \hat{F}(x_{(2\cdot(t-k))}) \right) \quad (6)$$

если  $x \in [x_{(2\cdot t-1)}, x_{(2\cdot t)}]$ ,  $t = \dots, -2, -1, 0, +1, +2, \dots$ ;

$$\hat{p}_\phi(x) = \frac{1-\eta}{(2\cdot k-1)\cdot 2\cdot h} \cdot \left( \hat{F}(x_{(2\cdot(t+k))}) - \hat{F}(x_{(2\cdot(t-k+1))}) \right) + \frac{\eta}{4\cdot k\cdot h} \cdot \left( \hat{F}(x_{(2\cdot(t+k))}) - \hat{F}(x_{(2\cdot(t-k))}) \right) \quad (7)$$

если  $x \in [x_{(2\cdot t)}, x_{(2\cdot t+1)}]$ ,  $t = \dots, -2, -1, 0, +1, +2, \dots$ ;

при четном  $k^* = 2\cdot k$ ,  $k = 1, 2, \dots$ :

$$\hat{p}_\phi(x) = \frac{1-\eta}{4\cdot k\cdot h} \cdot \left( \hat{F}(x_{(2\cdot(t+k))}) - \hat{F}(x_{(2\cdot(t-k))}) \right) + \frac{\eta}{(2\cdot k-1)\cdot 2\cdot h} \cdot \left( \hat{F}(x_{(2\cdot(t+k-1))}) - \hat{F}(x_{(2\cdot(t-k))}) \right) \quad (8)$$

если  $x \in [x_{(2\cdot t)}, x_{(2\cdot t+1)}]$ ,  $t = \dots, -2, -1, 0, +1, +2, \dots$ ;

$$\hat{p}_\phi(x) = \frac{1-\eta}{4\cdot k\cdot h} \cdot \left( \hat{F}(x_{(2\cdot(t+k+1))}) - \hat{F}(x_{(2\cdot(t-k+1))}) \right) + \frac{\eta}{(2\cdot k-1)\cdot 2\cdot h} \cdot \left( \hat{F}(x_{(2\cdot(t+k+1))}) - \hat{F}(x_{(2\cdot(t-k))}) \right) \quad (9)$$

если  $x \in [x_{(2\cdot t+1)}, x_{(2\cdot t+2)}]$ ,  $t = \dots, -2, -1, 0, +1, +2, \dots$ .

В выражениях (6) — (9)  $\eta$  — неотрицательное число, называемое весовым коэффициентом операторной аппроксимации,  $0 \leq \eta \leq 1$  [3]; переменная  $k$  называется полуразмахом аппроксимации; величина  $\hat{F}(x_{(s)})$ ,  $s = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$ , представляет собой значение оценки функции распределения вероятности, определяемой выражением:

$$\hat{F}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < x_{(1)}, \\ F_S = (F_{S-1} + K_S/P), & \text{если } x_{(S)} \leq x < x_{(S+1)}, \\ 1, & \text{если } x > x_{(N)}. \end{cases} \quad (10)$$

на границах, так называемых, отрезков группирования. Отрезок группирования — фрагмент области определения функции  $\hat{F}(x)$ , содержащий некоторое (в том числе и равное нулю) количество точек из совокупности  $X^{(P)}$  значений случайной величины, для которой строится операторная оценка функции плотности вероятности. Сама совокупность  $X^{(P)}$  получена из эксперимента.

Количество отрезков группирования  $(N-1)$  определяется требуемой точностью построения оценки функции распределения  $\hat{F}(x)$ . При этом величина отрезка группирования определяется как:

$$h = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{N-1}. \quad (11)$$

В выражениях (6) — (11):

$P$  — объём выборки  $X^{(P)}$ ;  $\{x_{(1)}, \dots, x_{(N)}\} = X_{(S)}$  — совокупность границ отрезков группирования, при этом:  $x_{(1)} = x_{\min}$ ,  $x_{(N)} = x_{\max}$ , где  $x_{\min}$  — минимальное, а  $x_{\max}$  — максимальное значение выборки  $X^{(P)}$ ;  $F_{s-1}$  — значение функции распределения на отрезке  $[x_{(s-1)}, x_{(s)}]$ ;  $K_s$  — количество выборочных значений совокупности  $X^{(P)}$ , попадающих в интервал  $[x_{(s-1)}, x_{(s)}]$ .

## 2. Выбор параметров настройки оценок функции плотности вероятности

При построении оценок вида (1) — (4) возникает необходимость подбора параметра настройки оценки  $\alpha$ , называемого параметром регуляризации. Этот параметр напрямую определяется так называемой шириной окна ядерной оценки плотности  $H$ . В частности, в оценках (1) — (4):

$$H = \sqrt{\alpha}. \quad (12)$$

Обычный подход к определению оптимального значения  $H$  заключается в использовании так называемого метода скользящего контроля с исключением объектов по одному (Leave-One-Out, LOO), описанному, например, в [4]. Этот метод предполагает реализацию итерационного оптимизационного процесса, требующего выполнения значительного объёма вычислительных операций, что ограничивает его практическое использование, особенно с увеличением объёма выборки  $X^{(P)}$ .

В [5] были выполнены исследования и предложен иной метод оценки параметра регуляризации параметра  $\alpha$ , заключающийся в следующем.

### Список литературы

1. Карандеев, Д.А. Метод синтеза устойчивой оценки функции плотности распределения вероятностей / Д.А. Карандаев, А.Н. Назаров // М.: МГУ, Интеллектуальные системы. — 1998. — Т.3. — Вып. 3-4. — С. 123 — 140.
2. Назаров, А.Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров АТМ сетей / А.Н. Назаров. — М.: Горячая линия — Телеком, 2002. — 256 с.
3. Фомин, Я.А. Статистическая теория распознавания образов / Я.А. Фомин, Г.Р. Тарловский. — М.: Радио и связь, 1986. — 264 с.
4. Деврой, Л. Непараметрическое оценивание плотности. L1-подход: Пер. с англ. / Л. Деврой, Л. Дърффи. — М.: Мир, 1988. — 408 с.

5. Карандеев, Д.А. Выбор параметров настройки алгоритма при восстановлении плотности функции плотности вероятности по эмпирическим данным / Д.А. Карандеев, А.Р. Стефанюк. // Автоматика и телемеханика. — 1996. — №10. — С. 95 — 111.

УДК 654

*Бабкин А.Ю., Колесникова Ю.К., Миняйло В.А., Петров М.В., Рыжаков В.В.*  
Сургутский государственный университет

## О НЕКОТОРЫХ ПРИКЛАДНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ КЛАССИФИКАЦИИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

г. Сургут

**Аннотация.** В работе приводится описание перспектив и практического использования результатов исследования пакетного трафика сетей передачи данных, а также разработки методов классификации и управления пакетным трафиком передачи данных приложений Дополненной реальности и Интернета вещей.

**Ключевые слова:** *дополненная реальность, классификация сетевого трафика, машинное обучение, мультисервисные сети, интернет вещей.*

*Babkin A.Yu., Kolesnikova Yu.K., Minyaylo V.A., Petrov M.V., Ryzhakov V.V.*  
Surgut State University

## ABOUT SOME APPLICATIONS OF NETWORK TRAFFIC CLASSIFICATION

Surgut

**Annotation.** The paper describes the prospects and practical use of the results of studying the packet traffic of data transmission networks, as well as the development of methods for classifying and managing the packet traffic of data transmission applications of Augmented Reality and the Internet of Things.

**Keywords:** *augmented reality, network traffic classification, machine learning, multiservice networks, internet of things.*

Системная реализация в инфокоммуникационных сетях связи концепции NGN (Next Generation Network — сети связи следующего поколения), предполагающей выделение в виде самостоятельного уровня предоставление услуг связи, привело к упрощению создания и внедрения на сетях новых услуг связи за счет унификации средств разработки и сопровождения новых сетевых сервисов. Технологической основой для реализации этого подхода стал принцип

коммутации пакетов, а прикладным инструментарием — протоколы и программно-аппаратные средства сети Интернет. Результатом реализации концепции NGN стал свободный доступ обычных пользователей к инструментам создания новых услуг связи, интенсивное развитие ассортимента предоставляемых услуг и, как следствие, глубокая дифференциация требований к качеству обработки и передачи трафика в инфокоммуникационных сетях. В настоящее время при организации работы инфокоммуникационных сетей связи провайдеры услуг связи сталкиваются с необходимостью решения следующих взаимно противоречивых задач — защита сетевых ресурсов, обеспечение заданного качества связи в часы наибольшей нагрузки, повышение экономического эффекта за счет оптимизации использования арендуемых каналов связи, балансировка использования полосы пропускания общего канала связи для разнородного трафика, предъявляющего различные требования к качеству обслуживания, учет индивидуальных профилей пользователей для получения конкурентного преимущества. Решение указанных задач достигается развитием средств динамического анализа сетевого трафика, которое в настоящее время идет по двум основным направлениям — рост «глубины» анализа для отдельного сетевого пакета, то есть увеличение уровня модели OSI, данные которого подвергаются анализу, и полнота учёта состояния потока, к которому относится пакет, а также других потоков, связанных с данным. Результатом динамического анализа трафика является его классификация, которая позволяет применять к выделенным потокам данных те или иные требования по его обслуживанию в инфокоммуникационных сетях. Прогнозы ведущих специалистов отрасли инфокоммуникаций показывают, что в ближайшее время в сетях связи начнут доминировать данные приложений Добавленной реальности и Интернета вещей. Их выделение на фоне остального трафика для обеспечения предъявляемых к обслуживанию требований является сложной технической задачей и требует разработки новых прогрессивных методов классификации трафика. В настоящее время для решения задач классификации трафика широко применяют методы машинного обучения, поскольку это обеспечивает большое количество преимуществ, таких как высокая скорость, низкое потребление ресурсов и отсутствие проблем с конфиденциальностью. Наличие большого числа публикаций в отечественных и международных периодических изданиях говорит об актуальности указанной проблематики в международной исследовательской повестке. Наиболее близкие к заявленной теме диссертационного исследования результаты представлены в работах российских исследователей — Шелухин О.И., Ерохин С.Д., Ванюшина А.В., представляющих научную школу Московского технического университета связи, Лихтциндер Б.Я., Киричек Р.В., Федотов Е.Д., Голубничая Е.Ю., Кочуров А.А., представляющих научную школу Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информа-

тики, а также в работах зарубежных авторов — Bojan Bakmaz, Zoran Bojkovic, Miodrag Bakmaz, Aghus Sofwan, Fuad Ashabus Surur, M. Arfan, Eko Handoyo, A.S. Yosua Alvin, Cong Jin, Xin He, Xiaojin Ding Международного института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE).

На основании анализа наиболее актуальных работ в сфере классификации сетевого трафика можно сформулировать перспективное направление работы, как создание системы управления пакетным трафиком передачи данных приложений Дополненной реальности и Интернета вещей, обеспечивающей оптимизацию использования полосы пропускания общего канала связи для разнородного трафика.

Возникающие при этом задачи можно сформулировать в следующем виде:

1. Разработка имитационной модели генерации трафика приложений Дополненной реальности и Интернета вещей в сети пакетной коммутации;
2. Сбор статистических данных о временных параметрах трафика приложений Дополненной реальности и Интернета вещей и получение оценок системных статистических показателей;
3. Разработка методов классификации и выделения трафика приложений Дополненной реальности и Интернета вещей в мультисервисном трафике канала связи;
4. Разработка критериев оценки показателей качества обслуживания трафика приложений Дополненной реальности и Интернета вещей;
5. Разработка методов обеспечения заданных критериев показателей качества обслуживания трафика приложений Дополненной реальности и Интернета вещей;
6. Разработка методов управления трафиком приложений Дополненной реальности и Интернета вещей на основании разработанных методов обеспечения заданных критериев показателей качества обслуживания;
7. Разработка архитектуры сетевого протокола управления пакетным трафиком передачи данных приложений Дополненной реальности и Интернета вещей, обеспечивающей оптимизацию использования полосы пропускания общего канала связи для разнородного трафика;
8. Разработка прототипа системного программного обеспечения, реализующего архитектуру сетевого протокола управления пакетным трафиком передачи данных приложений Дополненной реальности и Интернета вещей.

Результатом решения поставленных задач должна стать архитектура сетевого протокола управления пакетным трафиком передачи данных приложений Дополненной реальности и Интернета вещей, обеспечивающей оптимизацию использования полосы пропускания общего канала связи для разнородного тра-

фика, а также прототип системного программного обеспечения, реализующего разработанную архитектуру.

### Список литературы

1. Назаров, А.Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров АТМ сетей / А.Н. Назаров. — М.: Горячая линия — Телеком, 2002. — 256 с.
2. Карандеев, Д.А. Выбор параметров настройки алгоритма при восстановлении плотности функции плотности вероятности по эмпирическим данным / Д.А. Карандеев, А.Р. Стефанюк. // Автоматика и телемеханика. — 1996. — №10. — С. 95 — 111.
3. Карандеев, Д.А. Метод синтеза устойчивой оценки функции плотности распределения вероятностей / Д.А. Карандаев, А.Н. Назаров // М.: МГУ, Интеллектуальные системы. — 1998. — Т.3. — Вып. 3-4. — С. 123 — 140.
4. Шелухин, О.И. Мультифракталы. Инфокоммуникационные приложения / О.И. Шелухин. — М.: Горячая линия — Телеком, 2011. — 576 с.
5. Фомин, Я.А. Статистическая теория распознавания образов / Я.А. Фомин, Г.Р. Тарловский. — М.: Радио и связь, 1986. — 264 с.
6. Садовничий, В.А. Теория операторов. Учеб. для вузов / В.А. Садовничий. — М.: Высш. шк., 1999. — 368 с.
7. Левин, Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б.Р. Левин. — М.: Сов. радио, 1974 — 1976. кн. 1 — 3. — кн. 1 — 552 с., кн. 2. — 392 с., кн. 3 — 288 с.
8. Вентцель, Е.С. Теория вероятности и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. — М.: Высш. шк., 2000. — 480 с.

## СЕКЦИЯ 4. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ВУЗЕ

---

---

УДК 004

*Колмаков О.В., Блинков А.К.*

Красноярский институт железнодорожного транспорта филиал  
Иркутского государственного университета путей сообщения  
(КрИЖТ ИрГУПС), г. Красноярск

### СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ИНТЕРАКТИВНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

г. Красноярск

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено создание нового программного комплекса, который будет содержать в себе теорию и практику по профильным предметам электроэнергетики.

**Ключевые слова:** *3D MAX, Unity, создание 3D моделей, повышение качества.*

*Kolmakov O. V., Blinkov A. K.*

Krasnoyarsk Institute of Railway Transport branch of the Irkutsk State University  
of Railway Transport (KRIZHT IrGUPS), Krasnoyarsk

### CREATION OF A THREE-DIMENSIONAL INTERACTIVE SOFTWARE PACKAGE FOR STUDENTS OF THE ELECTRIC POWER PROFILE

Krasnoyarsk

**Annotation.** This article discusses the creation of a new software package that will contain theory and practice in the core subjects of the electric power industry.

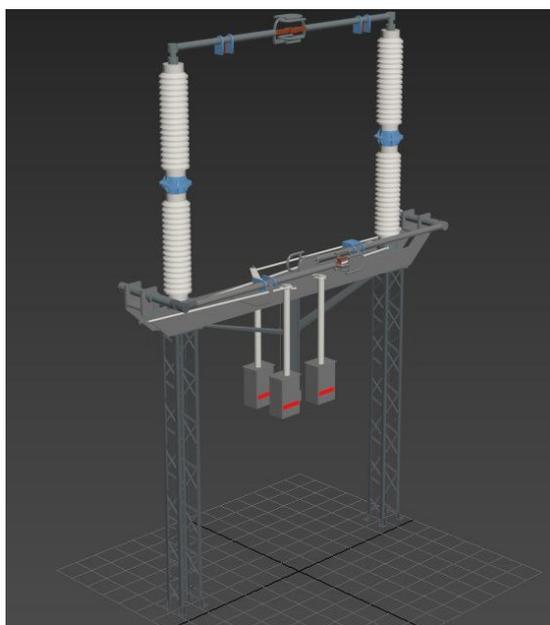
**Keywords:** *3D MAX, Unity, creating 3D models, improving quality.*

На сегодняшний день существует большое количество программных обеспечений для студентов любой специальности и профиля, и большинство этих программ запрограммировано на расчет функций, блок-схем, кодов, и лишь малая часть программ имеет возможность моделирования разного рода электрических схем.

Мы предлагаем на базе института создать программное обеспечение, в котором можно будет рассматривать интерактивные 3D модели, смотреть принцип их работы, разбирать их и собирать, а главная наша цель с помощью созданных 3D моделей создавать собственные тяговые подстанции, контактную сеть и рассчитывать сконструированные схемы.

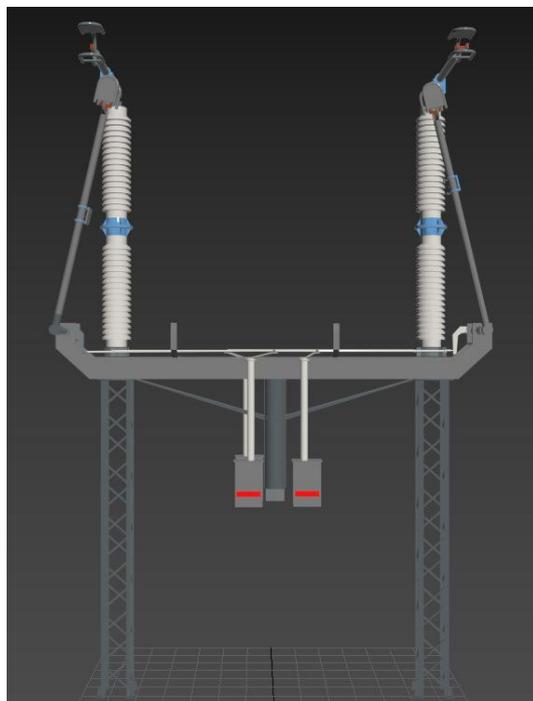
В разработке данного программного обеспечения уже участвует 6 студентов кафедры системы обеспечения движения поездов. Работа идет в программах 3D MAX и Unity. В данных программных обеспечениях предоставлен огромный спектр по созданию качественных 3D моделей, их «оживление» и удобный формат для предоставления работы. Платформа Unity простая и популярная, на её основе не трудно создавать интерактив с 3D моделями и сделать на её базе программу.

На первоначальном этапе мы создаем разные интерактивные 3D модели электроустановок и электрооборудования. На сегодняшний день мы создали горизонтальный разъединитель РГ-220 УХЛ1, рисунок 1, сделали его полностью интерактивным, рисунок 2, чтобы студенты могли включать и выключать его, и наблюдать какие процессы происходят и как идет непосредственно само переключение. Данный разъединитель уже был проверен на студентах, в рамках лекции по дисциплине «Контактные сети и линии электропередач».



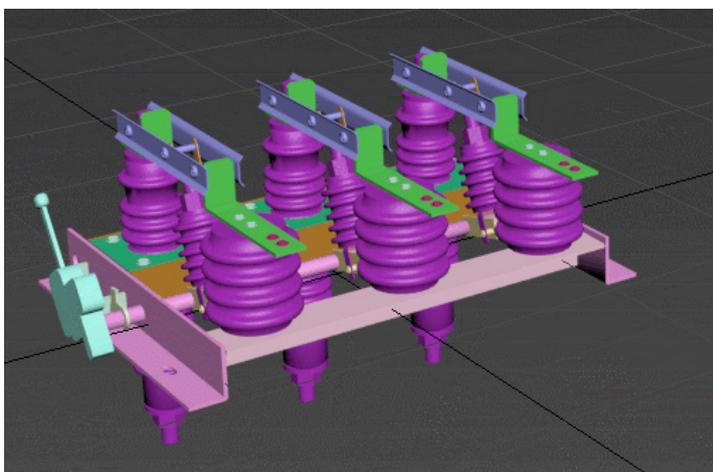
**Рисунок 1.** РГ-220 УХЛ1

После демонстрации его на лекции мы провели тестирование по знанию лекции по разъединителям с применением данной модели. По результатам тестирования студенты усваивают материал лучше где присутствует возможность работы с 3D моделью.



**Рисунок 2.** РГ-220 УХЛ1  
в состоянии выключен

Так же мы создали и другие модели разъединителей, рисунок 3, это разъединитель, вертикально-рубящий РВФ 10кВ 1000А, так же для более конкретизирования принципа работы, мы обрисовали на нем пневматический привод ручного действия, чтобы студенты могли включать и выключать его. Так же на основе таких приводов мы хотим создать крупную схему подстанции чтобы можно было с ней работать, включать или отключать электроустановки, проводить измерения, другими словами, проходить безопасную виртуальную практику.



**Рисунок 3.** РВФ 10кВ 1000А

Вторым этапом после создания всей необходимой базы трехмерных компонентов, мы создадим существующий тяговые подстанции и сделаем на интерактивные обучающие уроки. Уроки будут состоят из представления студенту разного оборудования, где оно применяется, для чего служит, как работает, пройдя весь курс. Студент получает задание, в этой же интерактивной платформе создать электрическую схему, из 3D моделей, которые студент изучил. На основе всех этих моделей студент может проектировать и изучать на виртуальном примере как работает тяговая подстанция или каким образом питается электроподвижной состав. Так же, созданную программу, можно будет применять для создания расчетов реальных схем, проектирования способов питания контактных сетей и так далее, так как программное обеспечение будет постоянно обновляться и дорабатываться.

В заключении можно добавить, что в информационном веке нужно уметь работать с информацией. Все способы получения знаний студентами в высших учебных заведениях, не модернизировались 20 лет. Данное программное обеспечение повысит не только качество образования, но также поможет подготовить хороших специалистов, которые знают, как работает и для чего работает оборудование или полностью схема. Создаваемый на сегодняшний день, данный проект, хоть и готов на 9%, но уже имеет большое влияние на студентов, которые изучают электрооборудование и аппаратуру по интерактивным 3D моделям.

### Список литературы

1. Землянов, Г. С. 3D-моделирование / Г. С. Землянов, В. В. Ермолаева. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 11 (91). — С. 186-189. — URL: <https://moluch.ru/archive/91/18642/> (дата обращения: 15.03.2021).
2. Бойков Е.В. Методика самостоятельного обучения студентов информатике с помощью объектно-ориентированных электронных учебников [Текст] : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 : защищена 21.03.2012: утв. 15.07.2012 / Бойков Евгений Викторович, — К., 2012. — 138 с. — Библиогр.: с. 3-15. — 005.015.315
3. НТС Vive [Электронный ресурс]. — Электрон. текстовые, граф., зв. дан. и прикладная прогр. (546 Мб). — М. : Большая Рос. энцикл. [и др.], 2018. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : зв., цв. ; 12 см + рук. пользователя (1 л.) + открытка (1 л.). — (Интерактивный мир). — Систем. требования : ПК 486 или выше ; 8 Мб ОЗУ ; Windows 3.1 или Windows 95 ; SVGA 32768 и более цв. ; 640x480 ; 4x CD-ROM дисковод ; 16-бит. зв. карта ; мышь. — Загл. с экрана. — Диск и сопровод. материал помещены в контейнер 20x14 см.

УДК 001.8

*Бородина Е.А., Семенова Л.Л.*

Сургутский государственный университет, г. Сургут

## ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОННЫМ УЧЕБНЫМ КУРСАМ ПО ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ ИНЖЕНЕРНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

г. Сургут

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы разработки и создания электронного учебного курса по образовательной программе высшего образования для бакалавров направления подготовки 13.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. Разработаны этапы формирования и создания электронного учебного курса на основе модульного обучения дисциплины с учетом дидактических единиц и использования инфокоммуникационных технологий.

**Ключевые слова:** *электронный учебный курс, результаты освоения дисциплины, триггеры освоения разделов дисциплины, оценочные мероприятия.*

*Borodina Ye.A., Semenova L.L.*

Surgut State University, Surgut

## REQUIREMENTS FOR ELECTRONIC TRAINING COURSES ON ENGINEERING EDUCATIONAL PROGRAMS

Surgut

**Abstract.** The article deals with the development and creation of an electronic training course on the educational program of higher education for bachelors in the field of training 13.03.02 Infocommunication technologies and communication systems. The stages of formation and creation of an electronic training course on the basis of modular discipline training taking into account didactic units and the use of information and communication technologies have been developed.

**Keywords:** *electronic training course, results of discipline development, triggers of discipline sections development and evaluation measures.*

Создание электронных учебных курсов (ЭУК) открывает принципиально новые перспективы и возможности для улучшения процессов воспитания, обучения и развития студентов всех направлений и специальностей. Под ЭУК понимается обучающий курс с применением технологий электронного обучения и доступом через Интернет, в том числе дистанционно; содержащие различные типы учебных материалов: видео, тексты и домашние задания, интерактивные форумы пользователей (определяются возможностями платформы, на которой построена система дистанционного обучения).[3,с 4]

Прежде чем создавать ЭУК в виде учебного курса по отдельно взятой дисциплине, необходимо обозначить его основные дидактические цели и задачи, содержание, структуру и назначение, а также определить основные виды занятий, на которых будет использован конкретный ресурс.

К основным задачам проектирования можно отнести:

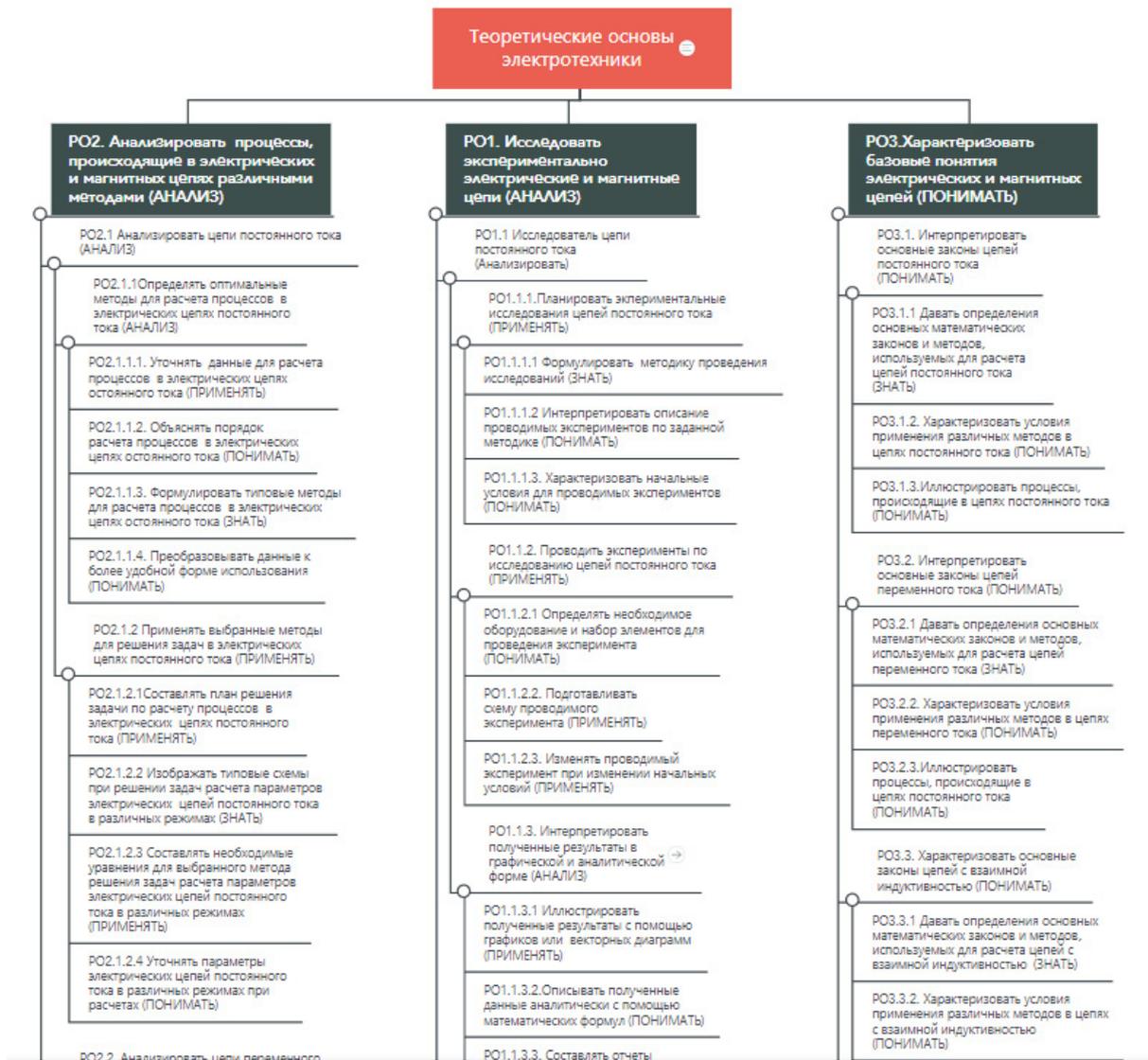
- обеспечение целостности учебного процесса в аудиторной и электронной среде;
- обеспечить мотивирующую и вовлекающую учебную среду;
- совместить возможности цифровых технологий с потребностями учебного процесса.

Далее рассмотрим этапы создания ЭУК по дисциплине «Теоретические основы электротехники» с использованием модульной объектно-ориентированной динамической учебной среды LMS Moodle, применяемой в Сургутском государственном университете. Как правило, процесс создания дистанционного курса происходит в несколько этапов.

**1 этап. Проектирование результатов обучения.** Первым шагом этого этапа будет формулировка образовательных результатов по дисциплине на основании анализа компетенций Основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи для бакалавров профиля «Телекоммуникационные системы и сети информационных технологий». Область профессиональной деятельности и сферы профессиональной деятельности, в которых выпускники, освоившие программу, могут осуществлять профессиональную деятельность: 06 Связь, информационные и коммуникационные технологии (в сфере разработки, проектирования, исследования и эксплуатации радиоэлектронных средств и радиоэлектронных систем различного назначения; в сфере обороны и безопасности государства и правоохранительной деятельности) [2]. Выпускники должны обладать трудовой функцией, имеющей отношение к профессиональной деятельности ПС 06.007 Инженер-проектировщик в области связи (телекоммуникаций) — предпроектная подготовка и разработка системного проекта объекта (системы) связи, телекоммуникационной системы.

Целью освоения дисциплины «Теоретические основы электротехники» являются обеспечение целостного представления о проявлении электромагнитного поля в электрических цепях, составляющих основу различных устройств в электроэнергетике и связи.

На основании раздела 4 ОПОП были сформулированы планируемые результаты освоения дисциплины (рис. 1).



**Рисунок 1.** Ментальная карта результатов обучения по дисциплине

После формулировки результатов обучения необходимо соотнести их с компетенциями и сформировать триггеры для проверки индикаторов достижения конкретного результата обучения. В таблице 1 приведен пример соотнесения основных профессиональных компетенций с планируемыми результатами обучения и показаны триггеры для достижения этих результатов по разделу «Постоянный ток. Цепи постоянного тока».

**Таблица 1.** Проектирование результатов обучения

Компетенция	Индикатор достижения результатов	Образовательный результат по дисциплине	Триггеры индикатора достижений
ОПК-2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2.1. Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи.	РО1. Исследовать экспериментально электрические и магнитные цепи	РО1.1 Давать определения основных математических законов и методов, используемых для расчета цепей постоянного тока РО1.2. Характеризовать условия применения различных методов в цепях постоянного тока РО1.3. Иллюстрировать процессы, происходящие в цепях постоянного тока РО1.4 Определять оптимальные методы для расчета процессов в электрических цепях постоянного тока РО1.5. Уточнять данные для расчета процессов в электрических цепях постоянного тока РО1.6. Объяснять порядок расчета процессов в электрических цепях постоянного тока в электрических цепях постоянного тока
	ОПК-2.2. Разрабатывает решение конкретной задачи, выбирая оптимальный вариант, оценивая его достоинства и недостатки.		
	ОПК-2.5. Определяет методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации.		
	ОПК-2.6. Применяет способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования.		
	ОПК-2.7. Обрабатывает и представляет полученные данные и оценивает погрешности результатов измерений.		

**2 этап. Проектирование системы оценивания.** Второй шаг. Соотнесение полученных результатов обучения с основными оценочными мероприятиями на основе результатов освоения дисциплины, где указываются образовательный результат, дидактические единицы разделов дисциплины, триггеры освоения разделов дисциплины и оценочные мероприятия текущего контроля. Это позволит провести анализ структуры и содержания курса и при необходимости их скорректировать. В таблице 2 показано, как соотноситься каждый результат обучения по дисциплине с соответствующим ему разделом, темой и оценочными мероприятиями. Темы и разделы расположены в порядке их изучения. Важно отметить, что один и тот же результат обучения может формироваться в рамках разных разделов и тем и с помощью различных оценочных мероприятий, а так-

же количество лекций, практических и лабораторных работ рассчитано на основе логики подачи материала.

**Таблица 2.** Проектирование системы оценивания

Результаты освоения разделов дисциплины			
Раздел дисциплины	Дидактические единицы разделов дисциплины	Триггер индикатора достижения компетенций	Оценочное мероприятие текущего контроля
Раздел 1. Постоянный ток	<b>Лекция 1.</b> Введение в теорию цепей. Основные понятия теории электрических цепей постоянного тока.	РО2. Анализировать процессы, происходящие в электрических и магнитных цепях различными методами	Опрос Тест Составление глоссария
	<b>Лекция 2.</b> Основные теоремы и положения. Законы Ома и Кирхгофа	РО3. Делать выводы по результатам физических экспериментов, математического и имитационного моделирования и расчета.	Опрос Тест Составление глоссария
	<b>Лабораторная работа 1.</b> Исследование простых электрических цепей постоянного тока	РО1. Исследовать теоретически и экспериментально электрические и магнитные цепи	Защита отчета по лабораторной работе
	<b>Лекция 3.</b> Методы анализа электрических цепей постоянного тока (метод: свертки, уравнений Кирхгофа, метод наложения).	РО2. Анализировать процессы, происходящие в электрических и магнитных цепях различными методами	Опрос Тест Составление глоссария
	<b>Практика 1.</b> Расчет электрических цепей постоянного тока с помощью законов Ома и Кирхгофа. Расчет электрических цепей постоянного тока с помощью метода наложения	РО3. Делать выводы по результатам физических экспериментов, математического и имитационного моделирования и расчета.	Групповая работа по решению задач

**3 этап. Проектирование сценария учебного процесса.** Третьим шагом на этом этапе будет проектирование сценария ЭУК, который понадобится уже для создания самого курса для построения маршрута обучения студента (рис. 2).

Важно отметить, что при таком построении изучения дисциплины с использованием платформы LMS Moodle преподаватель выступает в роли профессионального наставника студента — тьютора.

Занятие 4			Занятие 5			Занятие 6		
Методы анализа электрических цепей постоянного тока (метод: свертки, уравнений Кирхгофа, метод наложения).			Расчет электрических цепей постоянного тока с помощью законов Ома и Кирхгофа. Расчет электрических цепей постоянного тока с помощью метода наложения			Исследование электрических цепей постоянного тока методом наложения		
Лекция			Практика			Лабораторная работа		
Вид деятельности	Очно / Синхронно	В электронной среде	Вид деятельности	Очно / Синхронно	В электронной среде	Вид деятельности	Очно / Синхронно	В электронной среде
Обсуждение			Усвоение материала	решение типовых задач (использование онлайн-доски)		Обсуждение		
Усвоение материала	Актуализация знаний, обратная связь		Совместная деятельность	групповая работа по решению задач		Совместная деятельность	работа в малых группах (2-3 человека)	
Обсуждение	Прослушивание лекции (очно)		Практическая деятельность	выполнение расчетов		Практическая деятельность	выполнение лабораторной работы	
Усвоение материала	ответы на вопросы по ходу лекции		Обсуждение	комментирование полученного решения		Обсуждение	Защита отчета по лабораторной работе (1)	
Создание продукта		ПОСЛЕ: Тестирование в Moodle (после лекции)	Практическая деятельность	ПОСЛЕ: выполнение домашней работы (применяют в ЭК решение)		Аналитическая деятельность	ПОСЛЕ: Подготовка отчета по лабораторной работе (проектировать в ЭК)	
Усвоение материала		ДО: Составление глоссария	Усвоение материала	ДО: просмотр и изучение методических указаний по выполнению работы		Усвоение материала	ДО лабораторной работы: просмотр и изучение методических указаний по выполнению работы	
		ДО: Просмотр видеолекции (перед занятием 7)						

Рисунок 2. Сценарий учебного процесса

**4 этап. Создание ЭУК.** Курс по дисциплине включает в себя: организационный модуль, в который входит рабочая программа курса, инструкция по работе с курсом, информация о преподавателе, календарный рейтинг-план дисциплины, форум для вопросов преподавателю, контакты преподавателей, электронный журнал успеваемости, список терминов, литература по курсу, посещаемость; модули тем (разделов) изучаемой дисциплины — видеораздел, теоретический раздел, практический раздел; оценочный модуль — тесты к разделам дисциплины, ментальная карта, сиквейн, кластер, кроссворд и итоговый тест, олимпиада; модуль оценки качества содержит анкету слушателя.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод о том, что разработка ЭУК в системе управления на обучающей платформе LMS Moodle проходит через определенные этапы, причем каждый этап имеет конкретные цели и определенное содержание. Реализация каждого этапа курса должна ориентироваться на единую образовательную задачу: качественную подготовку высококвалифицированных специалистов. Возможности LMS Moodle направлены как на реализацию качественного высшего профессионального образования, так и на стимулирование процесса самообразования студентов.

### Список литературы

1. Бородина Е.А. Анализ существующих систем дистанционного обучения в России на основе виртуальной обучающей среды MOODLE // Север России:

стратегии и перспективы развития : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. (г. Сургут, 26 мая 2017 г.) : в 3 т. — Сургут. гос. ун-т. — Сургут : ИЦ СурГУ, 2017. — Т. I. с. 23-27

2. Основная профессиональная образовательная программа высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи для бакалавров профиля «Телекоммуникационные системы и сети информационных технологий», принята на заседании Ученого совета университета 20.06.2019 года протокол № 6.
3. Система менеджмента качества СурГУ. Стандарт организации Электронный учебный курс. Требования СТО-2.4.3-21. Принято советом по качеству 30 марта 2021.

УДК 001.8

*Кондрашкина Е.Г., Прохорова Е.В., Семенова Л.Л., Чаппаров Ф.Х.,  
Рыжяков В.В.*

Сургутский государственный университет

## ЭКОСИСТЕМА ИНЖЕНЕРНЫХ ТРЕКОВ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОФИЛЯ

г. Сургут

**Аннотация.** В работе представлено описание проекта «Экосистема SEESS», реализуемого на кафедре радиоэлектроники и электроэнергетики. Представлено описание причин запуска проекта, приводится характеристика целевого рынка, на котором работает кафедра, формулируются наблюдаемые тренды, порождаемые ими проблемы и пути их преодоления. Делаются заключения о необходимых изменениях, как в основном, так и обеспечивающих бизнес-процессах кафедры.

**Ключевые слова:** инженерный трек, тренды образования, инжиниринг, проектная деятельность, экосистема образования.

*Kondrashkina E.G., Prokhirova E.V., Semenova L.L., Chapparov F.H.,  
Ryzhakov V.V.*

Surgut State University

## ECOSYSTEM OF ENGINEERING TRACKS IN TRAINING ENGINEERING PROFILE SPECIALISTS

Surgut

**Abstract.** The paper presents a description of the SEESS Ecosystem project implemented at the Department of Radio Electronics and Power Engineering. A description of the reasons for launching the project is presented, a characteristic of the target market in which the department operates, the observed trends, the problems they generate, and ways of overcoming them are presented. Conclusions are made about the necessary changes, both in the main and in the supporting business processes of the department.

**Keywords:** *engineering track, education trends, engineering, project activities, education ecosystem.*

Проект «Экосистема SEESS» реализуется, как ответ на сформировавшийся устойчивый тренд необратимых изменений целевого регионального рынка труда инфокоммуникационных технологий, на который традиционно сориентирована кафедра радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета. В 2021 году кафедре исполнилось 25 лет.

Целевой рынок представлен двумя типами компаний — предприятия коммерческой связи, такие как Ростелеком, МТС, Билайн, Мегафон, Мотив и т.п., и подразделения производственной связи предприятий ТЭКа — Связьтранснефть, управления связи Сургутнефтегаз, Газпрома, Россети Тюмень и т.д. Для этих предприятий кафедра ведет подготовку выпускников по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». В пике спроса в период 2002-2006 годов рынок потреблял до 30 выпускников в год. В настоящий момент запрос на выпускников не превышает 15 человек в год. Набор абитуриентов на направление составляет 25 человек, включая коммерческий набор, выпуск составляет 10-12 человек. Это, с одной стороны, обеспечивает выполнение показателей по трудоустройству выпускников, но с другой, снижает общую экономическую эффективность и все показатели кафедры до критического уровня. Балансировка внутриуниверситетских показателей до приемлемого уровня обеспечивается наличием на кафедре второго направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника», для которого ситуация на целевом рынке труда значительно лучше — объем открытых вакансий в целом по предприятиям только города Сургута порядка 100 в год при среднем числе выпускников кафедры — 35 человек очного отделения в год при наборе 50 в год, включая коммерческий набор.

Тренд на изменение целевого рынка труда сформировался в период 2014-2018 годы, когда стал очевиден перевод эксплуатируемого телекоммуникационного оборудования предприятий на удаленное управление, что повлекло за собой сокращение в регионе высокотехнологических рабочих мест в отрасли связи. В период 2019-2021 годы тренд перевода инфокоммуникационных процессов в облачные технологии усилился, и по оценкам к 2025 году в отрасли должны произойти существенные изменения, которые приведут к падению числа открытых вакансий местных компаний до порядка 5 в год, что неизбежно приведет к закрытию направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» как абсолютно неэффективного по всем показателям.

Целевой рынок, на который сейчас работает кафедра, характеризуется тем, что это рынок эксплуатации телекоммуникационного оборудования.

По сути, для работы на этом рынке специалисту достаточно иметь квалификацию на уровне СПО. Низкие требования к качеству выпускников по цепочке приводят к низкому уровню подготовки абитуриентов, которые приходят на направление по остаточному принципу. Направление «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» — это традиционно 2-й или 3-й выбор абитуриентов по популярности. Соответственно, в процессе обучения наблюдаются высокие потери обучающихся, а уровень подготовки занижен относительно возможного. Де факто, это привело к критическому снижению качества всех учебно-научных процессов кафедры.

Выход из ситуации возможен только за счет прорыва на новые рынки. И здесь единственное, на что мы можем рассчитывать, — это рынок проектно-конструкторских разработок слаботочных и сильноточных электронных систем. В регионе он практически отсутствует. Единственное предприятие, которое в Югре системно работает на этом рынке — СургутНИПИнефть ПАО «Сургутнефтегаз». При этом оно ориентировано на выполнение типовых инженерных проектов и, при этом, часто скидывает заказы на аутсорсинг, оставляя за собой функции по предпроектному обследованию, формированию технических заданий и контролю при выполнении приемо-сдаточных работ.



**Рисунок 1.** Модель продуктов и выгод кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики

Почти полное отсутствие местных предприятий, выполняющих проектно-конструкторские работы, не означает отсутствие спроса на эти работы в регионе. Анализ открытых данных контрактов предприятий на работы, соответствующие

профилю кафедры показал, что объем заказов на такие работы от региональных заказчиков составляет порядка 2 млрд. руб. в год.

Проект «Экосистема SEESS» — это поиск ответа на вопрос, какие изменения необходимо провести, чтобы выйти из сложившейся предкризисной ситуации.

Итак, нам нужны новые потребители наших выпускников — предприятия, которые работают в сфере проектно-конструкторских разработок слаботочной и силовоточной электроники для компаний Югры. Барьеры — такие предприятия, в основном, базируются — Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Новосибирск, Томск, у них налаженные связи с местными вузами, подготовка в которых лучше, чем у нас. Возможности — сейчас это уже чаще всего тендерные контракты, поэтому при наличии финансовых запасов за счет демпинга и лучшего качества выполнения работ, это возможно. Еще один момент — стал усиливаться спрос на выполнение уникальных инженерных проектов и привлечение новых технологий, таких как IoT, машинное обучение, нейронные сети и т.п., понятно, с доказательством экономической эффективности от их применения.

Поэтому, можно сделать вывод, что прорыв можно совершить, занявшись формированием в Югре нового отраслевого сегмента инфокоммуникационных технологий со специализацией в сфере электронной инженерии электроэнергетических систем, представленного сообществом проектно-конструкторских организаций с развитыми компетенциями технологического маркетинга, чего зачастую нет у конкурентов, представленных компаниями малого и среднего бизнеса — это по итогам разговоров с руководителями таких компаний.

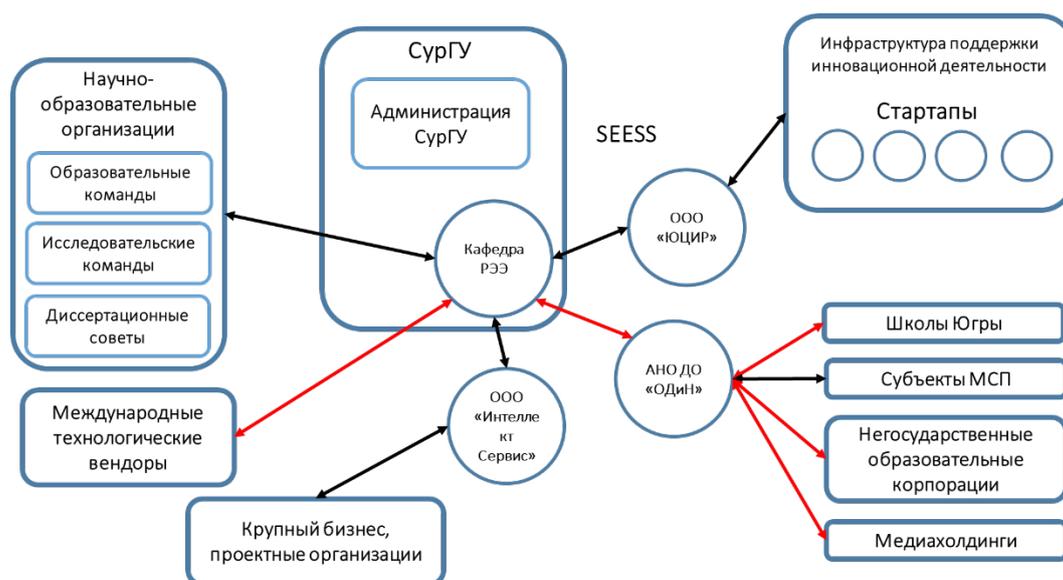


Рисунок 2. Модель деятельности школы SEESS

Общий вывод — если компания выходит на годовую оборотку свыше 1 млрд. руб., то она начинает задумываться (только начинает!) о том, что ей нужно подразделение технологического маркетинга, которое бы решала задачи повышения эффективности реализации типовых инженерных проектов за счет применения новых технологий. Т.е. вместо того, чтобы конкурировать с вузами за доступ к проектным компаниям, которые бы стали потребителями наших выпускников, лучше начать через стартапы создавать в Югре ориентированные на нас компании с изначально более адекватными бизнес-процессами. Территориальная близость и наличие огромной сети наработанных местных связей — это тот капитал, на который мы можем рассчитывать. Необходимо отметить, что в Югре уже было несколько неудачных попыток это сделать.

При составлении первоначального плана изменений 2 года назад, было решено главные усилия сосредоточить на изменении базового процесса и заняться пилотированием все остальных возможных направлений.

Поиск ответа на вопрос, что представляет собой современная инженерия, привел к тому, что при реализации инженерных проектов необходимо опираться на четыре области компетенций — инженерия, технологический маркетинг, управление проектами и профессиональная сфера. Далее было решено все процессы выстраивать вокруг инженерии, протягивая эту компетенцию через весь период обучения. Инженерия, как дисциплина, определяет смысл для всего остального — показывает, для чего это все нужно. Так родилась концепция инженерных треков, которая и была нами принята в качестве базового процесса. Сейчас идет активная трансформация базового учебного процесса в бакалавриате и со следующего учебного года начнется перестройка учебного процесса в магистратуре. В частности, эта перестройка уже привела к изменениям в ВКР — появилась проектная и экономические части, средний объем работы вырос на 30%. На следующем этапе ВКР будет преобразована в форму инвест-проекта с групповой работой над ней и защитой уже как стартапа.

Для реализации остальных направлений мы пошли по пути создания внешних аффилированных агентов в форме самостоятельных юридических лиц, которые могли бы взять на себя рыночные риски, которые вуз взять не в состоянии, поскольку это, все-таки, государственная структура. По мере развития проекта мы готовы перевести коммерческие предприятия в форму малых инновационных предприятий, допустив университет к управлению этими предприятиями.

### Список литературы

1. Развитие инженерного образования и экономический трек в обосновании технических решений // Ю. И. Жевора, А. Т. Лебедев, Р. В. Павлюк,

- Н. П. Доронина, Е. Н. Глебова, К. С. Волкова. — «Высшее образование: Современные вызовы и тренды развития», Сборник трудов региональной учебно-методической конференции: Ставропольский государственный аграрный университет, Издательство: Издательство «АГРУС» (Ставрополь), 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: Издательство «Знание-М» (Москва), 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: ООО Научные технологии (Москва), 2021. — №5. — С.: 122-127. — ISSN: 2223-2982.
  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. — ISSN: 2413-5674.
  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. — Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, 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 001.82

***Бородина Е.А., Семенова Л.Л.***

БУ ВО Сургутский государственный университет, г. Сургут

## РАЗРАБОТКА СЕТЕВОГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ДИСЦИПЛИНАМ ИНЖЕНЕРНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ В СИСТЕМЕ LMS MOODLE

г. Сургут

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные принципы проектирования и разработки электронного курса в среде LMS Moodle. Приведены этапы создания гибкой и масштабируемой среды обучения, обоснован выбор используемых инструментов.

**Ключевые слова:** *LMS Moodle, электронное обучение, учебно-методический комплекс, электронный курс.*

***Borodina EA., Semenova L.L.***

Surgut State University, Surgut

## DEVELOPMENT OF A NETWORK EDUCATIONAL- METHODOLOGICAL COMPLEX FOR ENGINEERING DISCIPLINES IN THE LMS MOODLE SYSTEM

Surgut

**Abstract.** The article describes the basic principles of designing and developing an electronic course in the LMS Moodle environment. The stages of creating a flexible and scalable learning environment are given, and the choice of tools used is justified.

**Keywords:** *LMS Moodle, e-learning, training and methodology complex.*

В последнее время в образовательный процесс все глубже и глубже проникают информационно-коммуникативные технологии, реализуемые с применением электронного обучения (e-learning) и электронных учебных курсов. Электронные курсы обладают рядом достоинств, таких как: доступность, модульность, наглядность, гибкость.

Согласно принятым в Сургутском государственном университете нормативным актам реализация электронных курсов возможна в двух формах:

- Онлайн-курсы, обеспечивающие полный цикл учебного процесса
- Онлайн-курсы, частично обеспечивающие учебный процесс [3].

Для реализации дисциплин инженерной направленности была выбрана вторая модель, позволяющая выстроить систему смешанного обучения (blended learning) [2]. В такой модели часть обучения проходит в традиционной форме аудиторных занятий, а самостоятельная работа реализуется с помощью ресурсов LMS Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment — Модульная объектно-ориентированная динамическая среда обучения).

Таким образом образуется единый учебно — методический комплекс, позволяющий выстроить обучающие траектории различной сложности.

В качестве экспериментальной площадки был спроектирован потоковый курс «Теоретические основы электротехники». Дисциплина читается на течении двух семестров на первом и втором курсе у студентов специальностей 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Разработка учебного курса в электронной среде проводилась на принципах обратного дизайна, что предполагает нисходящее проектирование — от формулировки результатов обучения по дисциплине, к созданию сценария курса и выбору необходимых для его реализации инструментов и сервисов. Также необходимо учесть, что электронный курс после запуска в реализацию не должен подвергаться значительным переделкам (изменению структуры курса, принципов оценивания и т.д.), т.к. это создаст большие сложности и путаницу у работающих с ним студентов. Необходимо при разработке структуры курса выделить несколько значимых частей (блоков), которые должны присутствовать в любом курсе, независимо от его содержания. Таковыми стали модули «Организация обучения», «Промежуточная аттестация», «Рефлексия» (рис. 1).

Модуль «Организация обучения» отвечает за общее знакомство с курсом, в нем размещен основной новостной форум для оперативной связи с преподавателем, информация о рабочей программе дисциплины, глоссарий, порядок обучения и календарный рейтинг-план дисциплины. Изучение этого блока завершается прохождением теста «Знаете ли вы порядок обучения?», который является обязательным для продолжения работы с курсом.

Модуль «Промежуточная аттестация» содержит информацию об условиях завершения обучения и подготовки к экзамену по дисциплине. Модуль «Рефлексия» предназначен для получения обратной связи от студентов по итогам обучения на курсе.



Рисунок 1. Каркасные разделы курса

Далее можно выделить две схемы реализации тела курса:

- Инструментально-ориентированная
- Тематически-ориентированная

Первая предполагает размещение учебных материалов с группировкой по видам используемых инструментов: блоки лекции с лекциями, задания с заданиями, презентации с презентациями. Данный вариант удобен для проектирования сценария курса, но лишен логики при работе с курсом. Таким образом была выбрана вторая схема реализации — по темам изучаемой дисциплины. Рабочая программа дисциплины разбита на несколько логических модулей, каждому модулю соответствует отдельный блок в курсе, количество лекций совпадает с количеством недель. Доступ к лекционному материалу внутри каждого блока неограничен, что создает возможность реализации модели «перевернутого класса», когда студенты могут ознакомиться с материалом до аудиторного занятия и задать уточняющие вопросы уже по ходу лекции. Движение между блоками линейное, т.к. изучение каждого следующего блока строиться на знании предыдущего.

Для систематизации работы и исключения возможности «сделать все последний день» в заданиях курса выставлено предельное время выполнения каждого задания. При этом возможность сдать работу после оговоренного срока также доступна, но с отметкой об опоздании.

Система Moodle позволяет выстроить различные траектории освоения курса, учитывающие уровень начальной подготовки слушателя. За выполнение заданий студент получает определенное количество баллов, которое определено бально-рейтинговой системой и зависит от сложности выполняемого задания (рис. 2) [1].

Минимальный балл, необходимый для допуска к промежуточной аттестации, можно набрать, выполняя базовые типовые задания, максимальный — более сложные задания продвинутого уровня. Таким образом в курсе реализована возможность выстраивания индивидуальных образовательных траекторий.

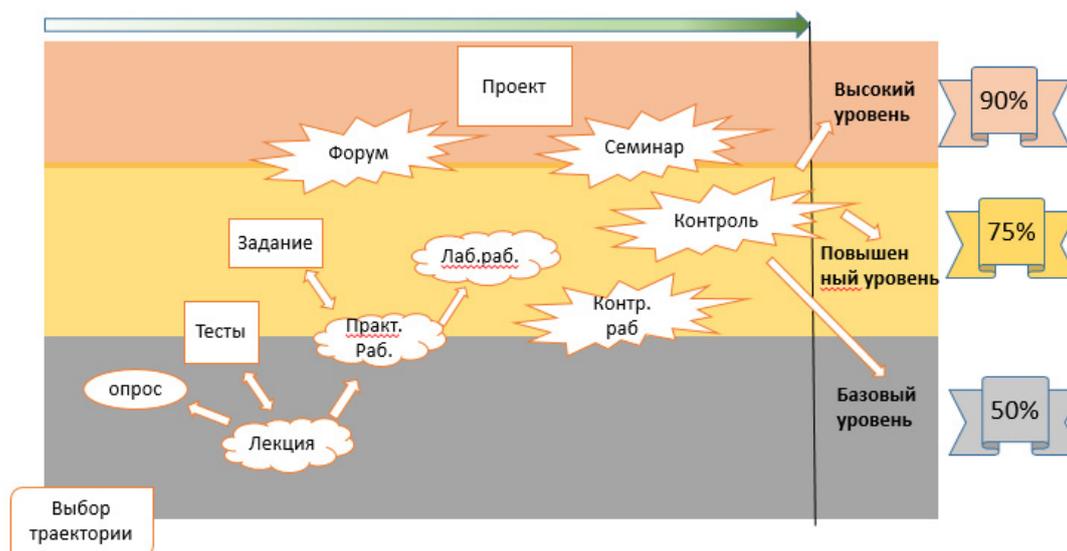


Рисунок 2. Выбор траектории обучения

На основе разработанного ранее сценария курса был определен необходимый статический контент, а также материал для организации текущего и итогового контроля. Воспользовавшись особенностями «клипового» мышления современных студентов, теоретическую информацию было решено представить в нескольких вариантах:

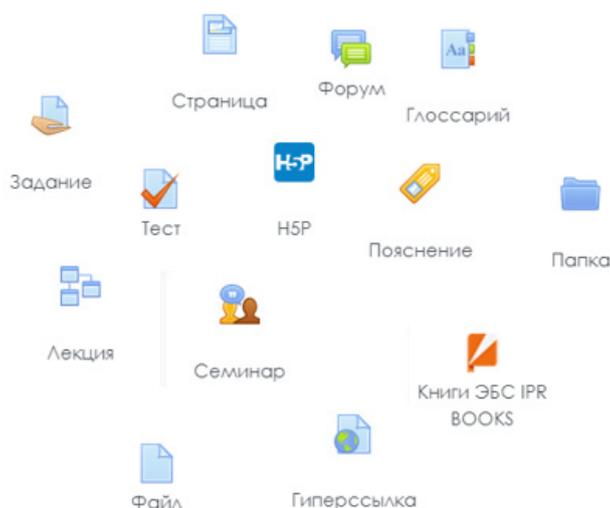
- Текстовый лекционный материал, разбитый на смысловые блоки;
- Видео-контент, представляющий собой короткие ролики небольшой длительности;
- Презентации, иллюстрирующие материал в наглядной форме.

Далее была разработана общая структурная схема обучающей и контролирующей частей курса (рис. 3). С учетом используемой платформы были определены элементы LMS Moodle, используемые для реализации различных видов деятельности (рис. 4) [4]. Основным элементом представления текстовой информации был выбран элемент Лекция. Элемент интересен тем, что помимо размещения информации, позволяет включать в блок вопросы по ходу изучения материала. В случае правильного ответа на вопрос студент будет двигаться дальше по лекции, в случае неправильного — будет перенаправлен на нужный раздел лекции. Для размещения презентаций и видео-лекций выбран инструмент Страница. Для организации групповой работы выбраны инструменты Форум и Семинар,

позволяющие организовывать такие виды деятельности, как взаимное рецензирование и взаимное оценивание. Элемент Задание позволил организовать самостоятельную работу студентов по решению домашних задач, подготовке отчетов и т.д. Элемент Глоссарий обеспечил сквозную работу в течении всего курса по составлению списка терминов по дисциплине. Для входного и итогового контроля использован элемент Тест.



**Рисунок 3.** Структурная схема проектирования электронного курса



**Рисунок 4.** Элементы и ресурсы, используемые при реализации курса

Курс «Теоретические основы электротехники» читается в течении двух семестров и разбит на девять смысловых частей. Для каждой из частей был использо-

ван набор обязательных и дополнительных ресурсов. Так, в обязательную часть входят интерактивные лекции, задания для выполнения домашней работы, задания для сдачи отчетов по лабораторным работам, контрольные мероприятия. В вариативной части каждого блока предлагаются задания повышенной сложности, творческие работы.

Рассмотрим особенности реализации отдельных элементов курса. Каждый тематический блок предусматривает в конце проведение итогового мероприятия. По разделам «Постоянный ток» и «Переходные процессы в линейных цепях» таковыми является создание и взаимное оценивание ментальных карт. Для реализации использован элемент «Семинар», работа состоит из двух этапов: выполнение задания по предложенной инструкции и оценивание двух работ, загруженных другими студентами. Оценивание выполняется по заранее заданным критериям. Получить доступ к оцениванию могут только студенты, загрузившие свои работы. После окончания отведенного на семинар времени производится автоматическое выставление двух оценок — за работу и за оценивание. Таким образом повышается мотивация студентов как к выполнению самого задания, так и к ответственному проведению взаимопроверок.

Еще одним достаточно интересным инструментом в курсе является необязательное задание по решению кроссворда. Элемент — игра «Кроссворд» берет слова из глоссария и генерирует случайный кроссворд, т.е. для каждого студента этот элемент будет различным.

Последним этапом реализации курса была настройка журнала оценок в соответствии с разработанной ранее бально — рейтинговой системой. Для корректного расчета рейтинга настроены подкатегории оценок — по числу тематических блоков. Первые четыре блока сгруппированы в категорию «Первый семестр», оставшиеся — в категорию «Второй семестр». Для реализации индивидуальных траекторий обучения оценки за отдельные вариативные элементы курса получили статус «Дополнительный балл». Таким образом, эти элементы не влияли на получение минимально необходимых баллов для допуска к промежуточной аттестации.

После определения элементов курса и загрузки необходимого контента в курсе были настроены два элемента геймификации: элемент Опыт! и выдача значков при выполнении определенных действий или наборе необходимого числа баллов (рис. 5).

В заключении можно отметить, что разработанный курс позволяет решить все поставленные перед ним задачи. В настоящее время курс проходит апробацию в учебном процессе, по результатам которой будут получены статистические данные об изменении результатов обучения и сделаны выводы о необходимости корректировки курса.



Рисунок 5. Элементы геймификации

### Список литературы

1. Нехаев, И.Н. Анализ качества обучения с использованием онлайн-курсов // Лучшие практики электронного обучения: материалы II методической конференции. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. — 108 с.
2. Организация учебного процесса в ВУЗе по технологии смешанного обучения [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://ra-kurs.spb.ru/2/0/3/1/?id=56> (дата обращения: 11.04.2021).
3. СТО-2.4.3-21 «Электронный учебный курс. Требования». Система менеджмента качества СурГУ. Стандарт организации. 30 марта 2021г. — URL: <http://www.surgu.ru/sotrudniku/dokumenty-sistemy-menedzhmenta-kachestva> (дата обращения 10.04.2021)
4. Moodle-coordinate-question — Documentation.wiki [Электронный ресурс]. URL: <https://code.google.com/archive/p/moodle-coordinate-question/wikis/Documentation.wiki> (дата обращения: 06.04.2021)

УДК 001.8

*Урсакий В.М., Рыжаков В.В.*

Сургутский государственный университет

## АРХИТЕКТУРА ПРИЛОЖЕНИЯ «КОЛЛЕКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ С ФУНКЦИЯМИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ»

г. Сургут

**Аннотация.** В работе представлено описание и основные функции приложения дополненной реальности, которое может быть использовано для обучения обслуживающего персонала промышленного предприятия.

**Ключевые слова:** *дополненная реальность, мобильное приложение, электронная обучающая система, архитектура приложения.*

*Ursaki V.M., Ryzhakov V.V.*

Surgut State University

## ARCHITECTURE OF THE AUGMENTED REALITY COLLECTIVE LEARNING APPLICATION

Surgut

**Annotation.** The paper presents a description and main functions of an augmented reality application, which can be used to train service personnel of an industrial enterprise.

**Keywords:** *augmented reality, mobile application, e-learning system, application architecture*

Обучение персонала по работе и обслуживанию технических установок очень трудоемкий процесс, который требует от персонала четкого понимания всех процессов, протекающих внутри технических установок, что крайне тяжело объяснить в теории.

Актуальность данной темы обусловлена тем, что развитие и обучение персонала является одним из важнейших направлений деятельности по управлению персоналом. Процессы организованного развития предприятия и его стратегические цели неразрывно связаны с обучением персонала.

Для лучшего понимания и повышения качества обучения персонала, мы создаём инфокоммуникационную систему коллективного обучения, в которой предусмотрен режим дополненной реальности (AR режим).

На сложных производствах даже высококвалифицированный персонал приходится обучать. Это отнимает время, которое сотрудник мог потратить на работу. Дополненная реальность позволяет обучаться в процессе. Система подсказок лучше личного наставника справится с этой задачей.

Примеры есть даже на российском рынке. Чтобы сократить время обучения новых сотрудников, компания использует мобильное приложение с AR. Достаточно навести экран на электротехническую схему, чтобы рассмотреть изделие в готовом виде и ознакомиться с особенностями его обслуживания

О результатах использования этих технологий можно судить по зарубежному опыту. По данным исследований, скорость работы при использовании обучающих программ увеличивается на 30%, а точность действий сотрудников доходит до 96%.

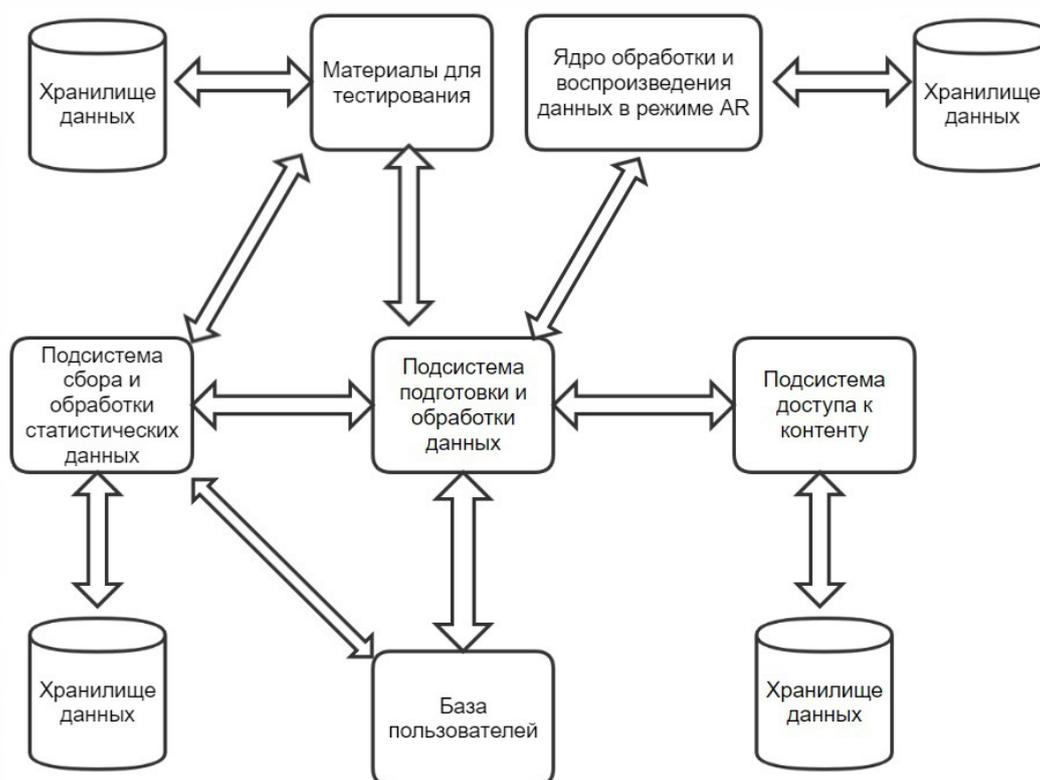


Рисунок 1. Архитектура приложения коллективного обучения.

Представленная на рис. 1. архитектура примечательна тем, что все части взаимодействуют друг с другом через «переходы», именно это и делает его простым и надёжным. Также это позволит облегчить переход из мобильного приложения к облачному сервису.

В случае если, убрать одну из подсистем, то работоспособность приложения не нарушится, за исключением изъятой подсистемы. Данная способность позволит быстро и просто перевести систему из формата мобильного приложения в формат облачного сервиса.

### **Список литературы**

1. Шарпова Н.В., Унжакова Е.А. Профессиональное обучение персонала как фактор конкурентоспособности организации.
2. ALEXANDER GEORGE Lockheed Is Using These Augmented Reality Glasses to Build Fighter Jets <https://www.popularmechanics.com/flight/a13967/lockheed-martin-augmented-reality-f-35/>
3. Orange Business Services Как дополненная реальность помогает производствам <https://www.orange-business.com/ru/blogs/kak-dopolnennaya-realnost-pomogaet-proizvodstvam>

УДК 372.853

*Айгумусова Д.С., Жунусова Р.А.*

Инновационный Евразийский университет, г.Павлодар, Казахстан

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОДЕЛЬНОГО ПРИБОРА «ДИНАМОМАШИНА»

**Аннотация.** Цель исследования — раскрыть особенности подготовки будущего учителя физики, который сможет заинтересовать учащихся при изучении физической теории. В статье рассматриваются преимущества обучения с использованием демонстрационного эксперимента. В статье приводятся примеры самостоятельного изготовления приборов, что способствует глубокому усвоению и пониманию сущности физического эксперимента. Актуальной данную статью делает то, что в настоящее время в школах при изучении законов электромагнетизма недостаточно внимания уделяется демонстрациям, вследствие отсутствия необходимых приборов.

**Ключевые слова:** физика, электромагнетизм, схема, эксперимент, прибор, динамомашинa.

*Aigumussova D.S., Zhunussova R.A.*

Innovative Eurasian University, Pavlodar, Kazakhstan

## STUDY OF THE LAW OF ELECTROMAGNETIC INDUCTION IN A SCHOOL PHYSICS COURSE WITH THE USE OF A HOMEMADE DEVICE «DYNAMOMASHINA»

**Annotation.** The purpose of the study is to reveal the features of the training of the future physics teacher, who will be able to interest students in the study of physical theory. The article discusses the advantages of training using a demonstration experiment. The article provides examples of self-manufacturing devices, which contributes to a deep assimilation and understanding of the essence of the physical experiment. What makes this article relevant is that currently, in schools, when studying the laws of electromagnetism, not enough attention is paid to demonstrations, due to the lack of necessary devices.

**Keywords:** physics, electromagnetism, circuit, experiment, device, dynamo car.

Физика, зародившись как экспериментальная наука, опирается на физический эксперимент. Важную роль в её изучении играет постановка физического эксперимента. Эксперимент является одновременно и источником знаний, методом обучения, и видом наглядности. Физический эксперимент представляет собой не только иллюстрацию тех или иных явлений и закономерностей, он служит средством доказательства справедливости различных теоретических положений, способствует выработке убежденности в познаваемости явлений природы, развивает умения и навыки обучаемых.

Раскрытие у учащихся способностей и сознательного восприятия материала, предоставляемого учителем физики, возможно только при развитии критического мышления, чему активно способствует постановка физического эксперимента. Однако физический эксперимент не существует сам по себе, он выражает тесную взаимосвязь методики преподавания с процессом познания физической теории.

Физический эксперимент имеет огромное педагогическое значение в процессе обучения. Он представляет собой активное взаимодействие преподавателя с учениками, вследствие которого интенсивнее чувствуется отдача со стороны учащихся, которая выражается в лучшем усвоении теории. Понимание эксперимента и его проведение связано с применением таких научных методов, как индукция, дедукция, анализ, синтез, умозаключение. Они всей своей совокупностью позволяют воочию ощутить влияние физического эксперимента в осмыслении физической теории.

В школьном курсе физики изучаются эксперименты, физическая основа которых привела к новым технологическим процессам. Это позволяет заинтересовать учащихся в более углубленном изучении физической науки, чтобы впоследствии привлечь их продолжить обучение в техническом направлении.

В Инновационном Евразийском университете по специальности «Физика» студентам третьего курса преподаётся дисциплина «Техника школьного эксперимента», главной особенностью которой является наличие уникальной курсовой работы. Её уникальность заключается в том, что студенты в процессе подготовки курсовой работы самостоятельно изготавливают приборы, подбирают к ним лабораторные работы, проводят эксперименты и во время защиты демонстрируют полученные результаты аудитории. Это способствует глубокому усвоению и пониманию сущности физического эксперимента.

Благодаря многосторонней направленности данной дисциплины нет ограничений по разделам физики, на основе которых пишется курсовая работа, в результате чего получается широкий спектр физических экспериментов по таким разделам, которым в ходе школьного обучения уделяется наибольшее внимание. Например, Механика, Молекулярная физика, Электричество и магнетизм.

Непосредственная трудность заключается не только в изготовлении прибора, но и в выборе соответствующего типа физического эксперимента, будь то лабораторная работа или же демонстрационный эксперимент.

В процессе подготовки курсовой работы студентам специальности «Физика» удалось собрать прибор «Динамомашина». Они консультировались со специалистами в силу того, что данная деятельность — самостоятельное изготовление прибора предполагает умение работать с технологическими схемами, с элементами электрической цепи, с составляющими динамомашин.

В качестве представления динамомашин мы выбрали демонстрационный эксперимент по разделу физики «Электромагнетизм», так как он полностью раскрывал эту установку (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Динамомашина

Демонстрационный эксперимент является одним из наиболее показательных видов физического эксперимента. Он позволяет учащимся самостоятельно анализировать и обсуждать данные эксперимента, поэтому само существование физических явлений, закономерностей и законов им не кажется неоправданным, в особенности, когда речь идёт о таком сложном разделе физики, как «Электромагнетизм».

Данный раздел физики несёт в себе многие трудности при проведении демонстрационных экспериментов для изучения его законов, которые предполагают особую необходимость в наглядности, так как, зачастую, многие аспекты это-

го раздела физической науки являются трудными для понимания. Демонстрации законов электромагнетизма требуют не только специально оборудованных установок, но соблюдения техники безопасности при их проведении.

Изготовленная в ходе изучения дисциплины «Техника школьного эксперимента» «Динамомашинка» не только безупречно демонстрирует явление превращения механической энергии в электрическую, но и является весьма безопасной в применении, что обеспечивает не только её надёжность, но и возможность применения при изучении законов электромагнетизма.

Известно, что человеком, который изобрёл динамомашину, является английский физик-экспериментатор Майкл Фарадей, открывший явление электромагнитной индукции. Собственно, это явление и лежит в основе принципа действия динамомашинки, что и было взято для выполнения темы курсовой работы и демонстрации.

Актуальной данную статью делает то, что в настоящее время в школах при изучении законов электромагнетизма недостаточно внимания уделяется демонстрациям, вследствие отсутствия необходимых приборов. Однако, в сложившейся ситуации, есть весьма простой выход — использование самодельных приборов. Например, при изучении «Закона электромагнитной индукции» удобно применить самодельную динамомашину, которая эффективно продемонстрирует это явление и сделает более доступным для понимания.

В процессе защиты курсовых работ студенты представили и другие интересные приборы. В частности, это двигатель Стирлинга, машина Атвуда, усовершенствованная модель наклонной плоскости, анемометр, универсальная пружина. Все эти установки демонстрируют только малую часть того, насколько богат и обширен физический эксперимент. Например, двигатель Стирлинга наглядно показывает применение основного уравнения молекулярной физики — уравнение Менделеева-Клапейрона. Данный двигатель можно использовать в качестве демонстраций тепловых двигателей.

Машина Атвуда — один из оптимальных вариантов при изучении второго закона Ньютона, который описывает поступательное движение тел. Универсальная пружина предназначена для изучения движения тел, брошенных под углом к горизонту. Усовершенствованная наклонная плоскость подходит для изучения коэффициента полезного действия, определения силы трения, равноускоренного движения и различных законов механики.

Используя вышеперечисленные самодельные установки и приборы, можно понять, насколько многообразна картина физического эксперимента, что во многом подтверждает его необходимость при изучении физической теории, причём необходимую наглядность смогут дать только специальные установки. Чем наглядней будет эксперимент, тем лучше учащиеся поймут его суть и теорию, ле-

жащую в его основе. Это даёт благородную почву к самостоятельному анализу и освоению физической теории, что является главным при воспитании нового поколения.

### **Список литературы**

1. Анциферов Л. И. Самодельные приборы для физического практикума в школе.
2. Гирке Р., Шпрокхоф Г. Эксперимент по курсу элементарной физики.
3. Покровский. А.А., Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. Часть 1.

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
СЕВЕРА РОССИИ**

Сборник статей

Ответственный редактор *Лина Мовсеян*  
Компьютерная верстка: *Сергей Чалый*

Сетевое издание

---

Издательство «Знание-М», Москва  
e-mail: [logos.book@mail.ru](mailto:logos.book@mail.ru)  
Подписано к использованию: 28.10.2021. Формат 60x84 1/8.  
Усл. печ. л. — 42,5. Заказ № 5702.

*Издано в научных и учебных целях.  
Коммерческое использование не предусмотрено.*



центр-логос.рф

Смыслим в издательском деле!  
Наши книги в Интернет-магазине [www.litres.ru/logos](http://www.litres.ru/logos)

БК vk.com/cnzlogos

[logos.book@mail.ru](mailto:logos.book@mail.ru)

ISBN 978-5-00187-067-8

