

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электрические сети и электротехника

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
Исследование частотных характеристик кабельных линий электропередачи	
УДК 621.315.23.076.2.001.5	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ4В	Бессараб Екатерина Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	В.Я. Ушаков	Д.Т.Н. профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А. А.	К.Э.Н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А. Г.	К.Т.Н. доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электрические сети и электротехника	А.В. Прохоров	К.Т.Н. доцент		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
Р2	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р3	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
Р4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
Р5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
Р6	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Универсальные компетенции	
Р7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники
Р8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.
Р9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
Р10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электрические сети и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ЭСиЭ

(Подпись) _____ (Дата) А.В. Прохоров

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской выпускной квалификационной работы
--

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ4В	Бессараб Екатерине Александровне

Тема работы:

Исследование частотных характеристик кабельных линий электропередачи	
Утверждена приказом	Дата <u>22 января 2016г.</u> № 274/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

21 июня 2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<i>Объект исследования: частотные характеристики кабельных линий электропередачи</i>
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Аналитический обзор литературных источников с целью определения методов исследования, реализации прогнозированной модели в программном обеспечении, исследование частотных характеристик кабельных линий электропередачи, влияние добавочных потерь от несимметрии и несинусоидальности токов, создание математической модели режимов линии.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Приложение А

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко А.А, к.э.н., доцент
Социальная ответственность	Дашковский А.Г., к.т.н., доцент
Structure of electric power losses	Низкодубов А.Г., к.п.н., доцент

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Реферативно представлены все разделы

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.11.2015 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ушаков В.Я.			20.11.2015г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4B	Бессараб Е.А.		20.11.2015 г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5AM4B	Бессараб Екатерина Александровна

Институт	Энергетический	Кафедра	Электрические сети и электротехника
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/ Энергосбережение и энергоэффективность

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	В научном исследовании были задействованы 2 человека (руководитель, инженер).
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование научных исследований	В данном разделе составлена структура работ, определена трудоемкости выполнения работ. Разработан график проведения научного исследования.
2. Формирование бюджета научных исследований	Данный раздел включает в себя: расчет материальных затрат, основную заработную плату исполнителей темы, накладные расходы, бюджета затрат НИИ, оценку рисков проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения НИ
2. График затрат НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А. А.	к.э.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4B	Бессараб Екатерина Александровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM4B	Бессараб Екатерине Александровне

Институт	Энергетический	Кафедра	Электрические сети и электротехника
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника/ Энергосбережение и энергоэффективность

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	1. Описание рабочего места на предмет : – Описание места проведения работ по разделу; – проявлений факторов техносферной безопасности; – Объекта воздействия на окружающую среду (экологическая безопасность); – Места возникновения ЧС (в основном опасность пожара); – п.5. организация работы отдела охраны труда (либо комплексного отдела – ОТ ПБ и ООС), его место расположение
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	1. Анализ вредных факторов, проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – выдержки из действующих нормативов на нормы с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно технический документ); - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) - описание технических систем, обеспечивающих требования нормативов 2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности - электробезопасность; - пожаровзрывобезопасность. 3. Охрана окружающей среды: - отходы потребления; - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 4. Защита в чрезвычайных ситуациях: - перечень возможных ЧС на объекте; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия управления охраной труда, ООС, ЧС; Перечень законодательных и нормативных документов в порядке их цитирования по пунктам раздела
Перечень расч-го и граф-го материала	Расчет искусственного освещения для помещения

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А. Г.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4B	Бессараб Екатерина Александровна		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Энергетический институт (ЭНИИ)

Направление подготовки (специальность): Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: магистратура

Кафедра Электрических сетей и электротехники (ЭСиЭ)

Период выполнения: (семестры IX-XII 2014/2016 учебного года)

Форма представления работы: магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Тема работы

Исследование частотных характеристик кабельных линий электропередачи

Срок сдачи студентом выполненной работы:

21.06.2016г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1.12.2014	<i>Глава 1. Определения, задачи и основные этапы исследования частотных характеристик. Состояние проблемы (литературный обзор).</i>	20 баллов
1.04.2015	<i>Глава 2. Изучение потерь электроэнергии, а так же методов их расчета (литературный обзор).</i>	20 баллов
1.10.2015	<i>Глава 3. Математическая модель режимов линии, исследование и создание модели (расчет).</i>	20 баллов
1.03.2016	<i>Глава 4. Частотные характеристики кабельных линий электропередачи (моделирование).</i>	40 баллов

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ушаков В.Я.			20.11.2015 г.

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электрические сети и электротехника	Прохоров А.В.	к.т.н., доцент		21.11.2015 г

Реферат

Выпускная квалификационная работа 113 с., 18 рис., 16 табл., 62 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: энергосистема, кабельная линия, частотные характеристики, потери электроэнергии, мероприятия по снижению потерь и электроэнергии.

Объектом исследования являются кабельные линии 100 кВ.

Цель работы – разработка математической модели, для определения частотных характеристик входного сопротивления кабельных линий электропередачи.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MS Word и представлена на компакт-диске (в конверте на обороте обложки).

Список используемых сокращений

РЭС – районные электрические сети

ЭС – энергосистема

ВЛ – воздушная линия

КЛ – кабельная линии

Т – трансформатор

ТН – трансформатор напряжения

ТТ – трансформатор тока

ПС – подстанция

ЭЭС – электроэнергетическая система

ЛЭП – линия электропередач

ПС – подстанция

УШР – управляемый шунтирующий реактор

БСК – батарея статических конденсаторов

СК – синхронный компенсатор

РМ – реактивная мощность

Оглавление

1. Анализ проблемы потерь, снижения качества электроэнергии при ее транспортировке	12
1.1. Природа потерь электроэнергии при передаче и распределении, их структура.....	12
1.2. Структура потерь электроэнергии	15
1.3. Технологические потери.....	16
1.4. Технические потери	17
1.5. Коммерческие потери	20
1.6. Методы расчета потерь в электрических сетях	22
1.7. Высшие гармонические составляющие тока и напряжений и их источники в электрических сетях	29
1.8. Основные мероприятия по сокращению технологических потерь	38
Заключение по разделу	40
2. Математическая модель режима многопроводной линии, и ее экспериментальная проверка.....	41
2.1. Параметры кабеля АПвП2г 1×400/120 100 кВ	41
2.1.1. Конструкция кабеля	43
2.2. Погонные параметры кабельной линии с учетом ее конструктивных особенностей	47
2.2.1. Погонное сопротивление линии	49
2.3. Математическая модель режимов линии	54
2.4. Частотные характеристики кабельной линии электропередачи	60
3. Планирование научно-исследовательских работ	66
3.1. Структура работ в рамках проектирования	66
3.1.1. Определение трудоемкости выполнения работ.....	67
3.1.2. Разработка графика проведения проектирования	68
3.2. Расчет материальных затрат НТИ.....	71
3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	71
3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы	74
3.4.1. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	74
3.5. Накладные расходы.....	75
3.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проектирования	75
3.7. Оценка рисков проекта	76
4. Социальная ответственность	80
4.1. Техногенная безопасность	80
4.1.1. Освещение.....	81
	10

4.1.2. Микроклимат	88
4.1.3. Шум.....	89
4.1.4. Электромагнитное поле	91
4.2. Электробезопасность	93
4.3. Пожарная безопасность	94
4.4. Охрана окружающей среды.....	96
4.5. Чрезвычайные ситуации	97
Список использованных источников.....	99
Приложение А.....	106

1. Анализ проблемы потерь, снижения качества электроэнергии при ее транспортировке

1.1. Природа потерь электроэнергии при передаче и распределении, их структура

Электричество отличается от других видов продукции тем, что её транспортировка осуществляется за счёт расходования части самой продукции и, следовательно, потери электричества неизбежны. Однако лишь часть электричества, не дошедшей от производителя к потребителю, можно отнести к чистым потерям. Другую часть в отраслевых документах обоснованно называют «технологический расход электричества на передачу по электрическим сетям». Ниже для краткости будет использоваться термин «потери», в необходимых случаях с определениями «технологические потери», «технические потери», «коммерческие потери».

Уровень потерь является важным, но не единственным показателем эффективности применительно к передаче и распределению электрической энергии. Понятие эффективности включает в себя ещё такие характеристики, как качество электричества, надёжность/бесперебойность электроснабжения, управляемость систем транспорта и распределения.

Представление о положении российской энергетики в мире в аспекте эффективности транспорта электричества дают данные таблицы 1. Правительство РФ поставило перед Минэнерго и руководством электросетевых компаний задачу – снизить потери к 2015 г. до 11 % и к 2030 г. до 8 %. По мнению международных экспертов, обоснованный уровень потерь электричества при передаче и распределении составляет 4-5 %, к которому следует стремиться. (Величина, близкая к пределу, определяемому физическими законами). Экономически обоснованный потенциал снижения потерь в сетях (реальный на сегодня) составляет около 35% от суммарных потерь [36].

Таблица 1. Уровень потерь при передаче электроэнергии в ряде ведущих стран и в среднем в мире

Страны или их объединения	Потери при транспорте и распределении
Индия	25
Мексика	16,2
Бразилия	16,6
Россия	>12,0
Китай	6,7
ЕС	6,7
США	6,2
Канада	7,3
Япония	4,6
Весь мир	8,8

Снижение потерь даже до уровня 10% позволило бы российским энергетикам успешно решать следующие задачи:

- экономить ежегодно более 32 млрд. кВт.ч электроэнергии (около 4,0 млн т у.т.) (это позволило бы либо остановить 7 энергоблоков по 500 МВт, либо не вводить новые мощности такого масштаба).
- сократить вредные выбросы в атмосферу (оксидов азота и серы, твёрдых частиц) в объёме не менее 107 тыс. т. в год.

Сокращение сверхнормативных потерь электроэнергии в электрических сетях может и должно стать важным источником инвестиций (наряду с другими) в сетевое хозяйство для радикального улучшения его технического состояния, а также замедления роста тарифов на электроэнергию. Это сложная проблема, включающая оптимизацию электрических сетей, совершенствование систем учета электроэнергии, внедрение новых информационных технологий в энергосбытовую деятельность и управление режимами сетей, обучение персонала и его оснащение средствами поверки приборов для измерения электроэнергии и др.

Исследование динамики и структуры потерь электроэнергии до и после реформы российской электроэнергетики в 1998-2008 гг. и их сопоставление с аналогичными показателями зарубежных энергосистем, подвергшихся разгосударствованию и децентрализации, выявили ряд важных закономерностей [36]:

1. Переход от централизованных (государственных) к рыночным механизмам управления энергетикой привел к увеличению потерь электроэнергии в сетях. Эффект наблюдался не только в российской электроэнергетике во время и после реформы, но и в других странах, пошедших на разгосударствление и децентрализацию этой отрасли.

2. Относительные потери электроэнергии в сетях тем ниже, чем выше доля промышленного потребления в полезном отпуске.

3. Включение нормативов потерь в тариф на услуги по передаче электрической энергии приводит к появлению опасной тенденции подгонки этих нормативов под фактические потери. Каждая из этих групп включает десятки позиций. Основными причинами роста потерь электроэнергии в 90-е и «нулевые» годы являются [36]:

- эксплуатация устаревшего оборудования.
- несоответствие схемно-режимных решений изменениям структуры потребления.
- неоптимальные уровни напряжения и реактивной мощности в сетях распределительных сетевых компаний.
- неблагоприятное (в аспекте потерь) влияние оптового рынка электроэнергии на режимы работы сетей.
- низкоэффективная (с точки зрения общественного производства) топология сети, не отвечающая модели энергетической подсистемы современной российской экономики.

1.2. Структура потерь электроэнергии

Около половины стоимости электроэнергии для потребителей формируется на стадии её производства. Вторая половина связана с её передачей и распределением и складывается из следующих составляющих:

- 22% - транспортировка по сетям низкого напряжения (Межрегиональные сетевые компании),
- 10% - транспортировка по местным коммунальным сетям (Территориальные сетевые компании),
- 7% -транспортировка по Единой национальной сети,
- 6% -сбытовая надбавка (услуги по формированию счетов и сбор денег с населения),
- 5% -услуги Системного оператора.

В первые три составляющие значительный вклад вносят потери энергии, состоящие из:

- 1) обусловленных физическими законами расходов энергии в передающей сети и в оборудовании подстанций (обоснованные расходы);
- 2) истинных потерь, обусловленных необоснованными расходами электроэнергии, связанными с износом электрооборудования, несовершенством организационно технологических решений и действий;
- 3) коммерческих потерь, обусловленных преимущественно хищением электроэнергии, рисунок 1.

Источниками информации об эффективности работы предприятий электрических сетей и об имеющемся у них потенциале энергосбережения являются: оперативная и отчётная документация по учёту электроэнергии, графики нагрузки и уровней напряжений, документация на основное (технологическое) и вспомогательное оборудование, результаты

инструментального энергетического обследования. Информация обобщается в энергетических паспортах.



Рисунок 1. Структура потерь электроэнергии на стадиях передачи и распределения

1.3. Технологические потери

Технологические потери в электрических сетях характеризуются следующими цифрами. В сетях 220 кВ и ниже теряется около 78% от общих потерь; из них: в сетях 110-220кВ – 28 %; в сетях 35 кВ – 16 % и в сетях 10-0,4 кВ – 34%. Цифры достаточно достоверные, т.к. все сетевые предприятия ежегодно проходят процедуру экспертизы технологических потерь при передаче электроэнергии.

Технологические потери включают три составляющие:

1. Технические потери.

2. Расход энергии на собственные нужды подстанций. Большая его часть является не потерями, а обоснованным потреблением электроэнергии для обеспечения нормальной работы технологического оборудования подстанций и обслуживающего персонала. К потерям следовало бы относить лишь бесполезно теряемую его часть.

3. Погрешности измерений.

1.4. Технические потери

Эта составляющая потерь, в свою очередь, подразделяется на:

1. Условно-постоянные – не зависящие от нагрузки и составляющие 24,7% от общих потерь (Из них 67% – потери холостого хода трансформаторов, 11% – собственные нужды подстанций, 22% – прочие потери);

2. Нагрузочные потери - зависящие от величины передаваемой по сети мощности, составляющие 75,3% от общих потерь. (Из них 86 % – потери в ЛЭП и 14% – в трансформаторах).

Условно-постоянные потери вызваны неизбежными затратами энергии на электромагнитные процессы в электротехническом оборудовании. Они не зависят от объёма транспортируемой энергии (от нагрузки), но зависят от технических параметров и физико-химических свойств материалов, используемых в оборудовании, и состояния окружающей среды и включают потери:

- холостого хода трансформаторов и активные потери в изоляторах, кабельных линиях, шинах, токопроводах и т.д., зависящие, прежде всего, от свойств, применённых в них материалов.
- на корону в ЛЭП и токи утечки по поверхности изоляторов, зависящие, в значительной мере, от состояния окружающей среды.
- в измерительных трансформаторах тока и напряжения, в приборах учёта электроэнергии.

Нагрузочные потери зависят от объёма транспортируемой активной и реактивной энергии. Весомой составляющей нагрузочных потерь являются потери, связанные с передачей реактивной мощности. Циркулирование её в сетях ведёт к их перегрузке и снижает полезную пропускную способность. (В городских распределительных сетях её доля может превосходить 50%

суммарной мощности). Потребляют реактивную мощность однофазные и трехфазные электродвигатели переменного тока (45-60%), трансформаторы всех ступеней трансформации (20-25%), электропривод с полупроводниковыми преобразователями, мощные газоразрядные лампы.

Основными источниками реактивной мощности являются генераторы электрических станций (их мощности не достаточно для обеспечения баланса реактивной мощности), специальные устройства на подстанциях энергосистем: синхронные компенсаторы, батареи статических компенсаторов, управляемые источники реактивной мощности. Эффективно «бороться» с ней, т.е. компенсировать могут только крупные потребители, преимущественно промышленные предприятия.

Приказом Минпромэнерго РФ от 22.02.2007г. №49 восстановлена ответственность потребителя за потребляемую реактивную мощность. При компенсации реактивной мощности необходимо учитывать технологические особенности, график нагрузки потребителя и использовать системы автоматического управления компенсацией реактивной мощности, основанные на новых методах и технических средствах. Источниками исходных данных для расчёта технических потерь являются следующие:

- информация о топологии ЭС и параметрах схемы замещения.
- результаты измерения объёмов электроэнергии в ветвях и узлах ЭС.
- данные о длительности отключённого состояния всех наиболее важных элементов ЭС.

Методы расчёта технических потерь электроэнергии утверждены соответствующими директивными и методическими документами Минэнерго РФ. Расчёт потерь электроэнергии в ЭС осложняется такими факторами как:

- Большое схемно-режимное многообразие ЭС.

- Высокая степень неопределённости или отсутствие необходимой для расчётов информации вследствие топологических изменений, производимых в ЭС на длительных интервалах времени.

- Нерегулярность контрольных замеров в ЭС.

- Неодновременность снятия показаний счетчиков электроэнергии и высокая погрешность приборов учёта.

- Большое многообразие приборов учёта электроэнергии с различным классом точности.

- Неучёт в существующем программном обеспечении в режимах малых нагрузок ряда «незначительных» потерь энергии (активное сопротивление линий рассчитывается по среднегодовой температуре местности, в сетях НН не учитываются перетоки РМ, не учитываются высшие гармонические составляющие и несимметрия и др.).

- Коммерческие потери электроэнергии.

Технические потери в электрических сетях энергоснабжающих организаций рассчитывают по трем диапазонам напряжения:

- в питающих сетях высокого напряжения (ВН) 35 кВ и выше;
- в распределительных сетях среднего напряжения (СН) 6 -10 кВ;
- в распределительных сетях низкого напряжения (НН) 0,38 кВ.

В настоящее время по каждому РЭС и ПЭС технические потери в сетях 0,38-6-10 кВ рассчитываются ежемесячно и суммируются за год. Полученные значения применяются для расчета планируемого норматива потерь электроэнергии на будущий год. Технологические потери электроэнергии нормируются (в абсолютных единицах или в процентах установленного показателя) [31].

Нормативный метод расчета нагрузочных потерь электроэнергии – это метод, использующий при расчете потерь весь объем имеющийся информации

о схемах и нагрузках сетей данного напряжения. При увеличении оснащённости сетей средствами измерения и оперативного контроля режимов рекомендуется применение более точных методов из их перечня, установленного методикой. Нормативная характеристика технологических потерь электроэнергии – зависимость норматива технологических потерь электроэнергии от структурных составляющих поступления и отпуска электроэнергии.

Инструкция по расчету потерь в электрических сетях разработана для идеальных режимов сетей, но реальные режимы электрических сетей далеки от идеального состояния: наблюдаются несимметрии режимов и параметров элементов, искажения синусоидальности, вызывающие дополнительные потери. Привлекательной стороной традиционных расчетов потерь является их простота, но в ущерб точности. С развитием электронной вычислительной и информационно-измерительной техники стало возможным разрабатывать более точные методы расчета и оценки уровня потерь.

1.5. Коммерческие потери

Данный вид потерь обусловлен не физическими свойствами элементов ЭС, а является результатом хищения электроэнергии абонентами. Также их причиной являются не одновременность снятия показателей приборов учета, не своевременная оплата услуг по передаче электроэнергии. Данный вид потерь не включается в норматив технологических потерь, и соответственно, является источником прямых убытков энергосбытовых компаний. Считается, что коммерческие потери являются результатом социальных и организационных факторов:

1. Хищение электроэнергии потребителями;
2. Недостатки в организации контроля, за потреблением и оплатой электроэнергии [13, 15]. На уровень коммерческих потерь может существенно

влиять качество организации ее учета. На головных участках радиальных сетей (в которых чаще всего возникает коммерческий недоучет) всех классов напряжения необходимо устанавливать счетчики технического учета электроэнергии. Это позволяет составить баланс между отпущенной в данную сеть и оплаченной потребителями электроэнергии, тогда становится возможным выделить участки сети с повышенным уровнем коммерческих потерь.

В настоящее время, в условиях рыночной экономики можно утверждать, что уровень коммерческих потерь вырос и влияет на доходы энергосбытовых компаний. Это будет существенной составляющей отчетных потерь, к которым относят все не обоснованные расчетным путем потери, в т.ч. добавочные потери от несимметрии и несинусоидальности токов.

1.6. Методы расчета потерь в электрических сетях

Для выработки эффективных мер по сокращению потерь в электрических сетях необходимо проводить оценку уровня потерь, выявлять факторы, влияющие на уровень потерь и определять степень их влияния.

На сегодня задача расчета и оценки уровня потерь в электрических сетях решается на основе утвержденной Министерством энергетики РФ инструкции [31]. К сожалению, данный документ при расчете нагрузочных потерь не учитывает потерь, обусловленных низким качеством электроэнергии по таким показателям как несинусоидальность и несимметрия. В тоже время знания об уровнях потерь электроэнергии от высших гармонических составляющих тока и токов обратной последовательности могут способствовать выработке эффективных мер по сокращению потерь в электрических сетях. Это является первым аспектом в учете качества электроэнергии при расчете потерь электроэнергии.

Вторым аспектом является вопрос о тарифообразовании. Известно, что тариф на электроэнергию имеет две составляющие: а) плата за обслуживание электрических сетей и б) плата за технологический расход электроэнергии на ее транспорт и распределение [21]. Как отмечено в разд.1.5, коммерческие потери не включаются в тариф, вследствие невозможности их расчета и обоснования по каким-либо общепринятым законам физики и экономики [14, 21, 27].

Таким образом, поскольку в [31] не предусмотрено потерь, обусловленных несинусоидальностью и несимметрией токов, они автоматически попадают в разряд коммерческих и, следовательно, не включаются в тариф (хотя на самом деле являются техническими) [6, 23]. Данное обстоятельство ведет к тому, что электросетевые предприятия теряют доход, следовательно, государство имеет недоимку налогов в бюджет.

В качестве примера влияния несимметрии токов на уровень потерь можно привести данные, опубликованные в [42]. Указывается, что в период 1966-1970 гг. в электрических сетях 6-10/0,4 кВ СССР добавочные потери от несимметрии

составили 1080 гВт.ч., что почти на 39 % выше, чем при симметричных режимах.

Согласно [31] расчет нормативных потерь на перспективу производится на основе расчета потерь за базовый период, уровень которых необходимо определять с достижимой достоверностью. При определении потерь электроэнергии за базовый период расчет потерь мощности осуществляется на ЭВМ с применением сертифицированных Минэнерго РФ программных комплексов как «РТП 3.1» и «РАП-Стандарт» [7]. Иногда расчеты проводят с применением программных комплексов по расчету установившихся режимов как «Дакар», «Мустанг», «Eurostag» и «RastrWin».

Расчет производится по информации, полученной путем контрольных измерений только для одного момента времени (например, для ночного минимума, дневного максимума и т.д.). Для обеспечения достаточно достоверности необходимо проводить расчеты с интервалом в 1 ч., для чего в течение суток необходимо произвести не менее 24 измерений, однако на практике это происходит иначе. На подстанциях редко кто занимается такими измерениями. Современными системами телеизмерений оснащены далеко не все подстанции. В плане перспективного развития электроэнергетики страны до 2030 года предусмотрена полная модернизация электрических сетей, что включает в себя и оснащение подстанций современными средствами телеизмерений по Нормам технологического проектирования подстанций [30].

Вернемся к реалиям наших дней.

Существует пять методик расчета потерь электроэнергии по сети в целом. Официально они представлены в документе [31], который на сегодняшний день является единственным документом, опираясь на который рассчитываются потери во всех энергетических организациях страны. Практическое использование этих методик подробно описано в трудах таких отечественных ученых как Железко Ю.С., Поспелов Г.Е., Воротницкий [7, 8, 14, 15]. Ниже представлены эти методики:

- 1) оперативных расчетов;
- 2) расчетных суток;
- 3) средних нагрузок;
- 4) числа часов наибольших потерь мощности;
- 5) оценки потерь по обобщенной информации о схемах и нагрузках сети.

Большим недостатком всех этих методик является низкая точность, т.е. больших погрешностей расчета. Данная проблема является самой большой в области расчета потерь электроэнергии. Основными используемыми методиками являются вторая и третья. Все эти методики основываются на суммировании потерь электроэнергии, рассчитанных по каждому элементу сети. Для каждого элемента сети есть своя формула для расчета потерь в нем. Принцип наиболее применяемых методик (2 и 3) заключается в расчете мощности активных потерь для условного промежутка времени i и суммировании итогов, что дает потери энергии.

Для более полного представления существующих недостатков методик, рассмотрим, изложенный в [31] порядок расчета нагрузочных потерь электроэнергии в ВЛ для условно постоянного промежутка времени. Формула по расчету нагрузочных потерь в ЛЭП, которая также справедлива и для кабельных линий, шинопроводов или двухобмоточных трансформаторов (далее элементы) имеет вид:

$$\Delta W_{nj} = 3 \cdot R \cdot \sum_{j=1}^M (I_j^2 \cdot \Delta t_j) \cdot 10^{-3} = R \cdot \sum_{j=1}^M \left(\frac{P_j^2 + Q_j^2}{U_j^2} \cdot \Delta t_j \right) \cdot 10^3, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (1.1)$$

где R - активное сопротивление элемента, Ом; I_j - токовая нагрузка элемента, принимаемая на интервале времени Δt_j неизменной, А; P_j , Q_j - значения активной и реактивной мощности элемента, принимаемые на

интервале времени Δt_j неизменными, МВт, Мвар, соответственно; U_j - значение напряжения на элементе, принятое на интервале Δt_j неизменным, кВ; Δt_j - интервал времени, в течение которого нагрузка элемента сети с сопротивлением R принимается неизменной; M - количество интервалов времени Δt_j в базовом периоде.

Так, потери мощности и электроэнергии в элементах сети зависят от двух параметров: его сопротивления и протекающего по нему тока.

Рассмотрим названные два параметра для ВЛ, в которых, как указывалось выше, имеют место 86 % нагрузочных потерь.

Активное сопротивление ВЛ рассчитывается на основе справочных данных проводов [3] по формуле:

$$R_{\text{ВЛ}} = r_0^{20} \cdot (1 + 0,004 \cdot (\Theta - 20)) / n_{\text{ц}}, \text{ Ом} \quad (1.2)$$

Где r_0^{20} - удельное активное сопротивление на 1 км провода при его температуре 20°C, Ом/км; L - длина линии, км; Θ - средняя температура провода за базовый период, °C; $n_{\text{ц}}$ - количество параллельных цепей, шт.

На практике обычно температура провода не известна и поэтому методикой допускается при расчетах принимать ее равной 20°C. После вычисления активного сопротивления одного провода, оно умножается на 3, как это показано в формуле (1.1). Таким образом, вычисляется активное сопротивление всей ВЛ.

Так, согласно модели, представленной в [31], расчет потерь электроэнергии в ВЛ складывается из нагрузочных потерь, рассчитываемых по формуле (1.1), и климатических, представляющих собой потери на корону.

Потери мощности на корону в [31] не рассчитываются: в виду их независимости от нагрузки они лишь представлены в виде таблиц «Удельные потери электроэнергии на корону». Последние зависят от продолжительности конкретных видов погоды. Для случаев отсутствия информации о погодных

условиях на расчетный период предусмотрена таблица «Удельные годовые потери электроэнергии на корону», по которой можно оценить уровень потерь на корону по каждому региону Российской Федерации.

Действующее значение тока определяется из формулы:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m \quad (1.3)$$

Как следует из формулы (1.1) т.е. квадрат тока, протекающего по ВЛ, вычисляется на основе данных о фазном напряжении, активной и реактивной мощностях. Это говорит о том, что в учет берется суммарный ток прямой последовательности по трем фазам. При этом подразумевается симметричная система токов.

В свете стоящей перед диссертантом задачи, большой интерес представляют разработанные на сегодня подходы к расчету потерь активной мощности в ЛЭП, в которых учитывается наличие высших гармонических составляющих тока в элементах сети. Согласно [5,25,34], дополнительные потери активной мощности в линиях, вызванные протеканием высших гармоник тока, могут быть определены по следующей формуле:

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3 \sum_{v=2}^n I_v^2 R_1 k_{rv}, \quad (1.4)$$

где v – номер гармоники; n – число учитываемых гармоник; I_v – ток v -ой гармоники; R_1 – активное сопротивление на основной частоте; k_{rv} – коэффициент, учитывающий влияние поверхностного эффекта. Как правило, его принимают равным: $k_{rv} = 0,1\sqrt{v}$.

В [12] приводятся аппроксимирующие выражения для зависимости $k_{rv}(v)$, при использовании которых получаются несколько большие значения потерь:

Тип проводника	$k_{rv}(v)$
АС-400	0,3v
А-400	0,15v
Медный кабель	0,06v
Алюминиевый кабель	0,06v

Удельное активное сопротивление проводника на высших частотах определяется по:

$$r_{0v} = r_0 (k_{rv} + k_{\sigma v}), \quad (1.5)$$

где r_0 – удельное сопротивление проводника постоянному току (с учетом температуры); k_{rv} – коэффициент, учитывающий явление поверхностного эффекта для v -ой гармоники, и равный:

Коэффициент $k_{\sigma v}$ учитывает эффект близости для v -ой гармоники и определяется по следующей формуле

$$k_{\sigma v} = \frac{1,18 + k_{rv}}{k_{rv} + 0,27} \left(\frac{d}{a} \right)^2, \quad (1.6)$$

где d – диаметр жилы проводника, мм; a – расстояние между центрами жил, мм. Эффект близости обязательно нужно учитывать для кабельных линий. Для воздушных линий, если $a > 50$, эффект близости предлагается не учитывать и выражение для расчета потерь от высших гармоник в ЛЭП по [2] примет вид:

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3r_0 I \sum_{v=2}^n I_v^2 (k_{rv} + k_{\sigma v}), \quad (1.7)$$

Коллективом авторов [25] разработана программа по расчету добавочных потерь мощности в основных элементах системах электроснабжения (ЛЭП, батареи конденсаторов, электрические машины, силовые трансформаторы). Программа позволяет рассчитать потери только на основе формул (1.4)-(1.7) и

лишь для одного момента времени. В действительности график изменения искажения синусоидальности в течение суток может существенно варьироваться.

Выражения, представленные в [12, 25, 34], предназначены для вычисления мощности потерь, поэтому полученные по ним значения необходимо умножать на условно постоянный промежуток времени. Более того, они слабоадаптированы к реальной обстановке в электрических сетях, поскольку, так же как [31], не учитывают несимметрию токов. Удельное сопротивление активной мощности на основной частоте принимается из справочников по проектированию электрических сетей или по электроснабжению [33].

В [12] вводится понятие «относительное значение дополнительных потерь» в линии в сравнении с потерями на основной частоте, значение которых, по мнению автора, мало – не более 1-2%, что значительно меньше, чем потери от протекания реактивных мощностей. Однако следует не забывать, что добавочные потери могут быть незначительными для одного элемента сети, но по сети в целом суммарные добавочные потери могут составлять существенную величину.

Рассмотренные модели расчета добавочных потерь не учитывают большое количество факторов, влияющих на режим работы линии:

- несимметрия параметров линий;
- несимметрия режимов линий;
- несимметрия режимов линии на высших гармониках;
- распределенность параметров на высших гармониках;

В связи с указанными ограничениями существующих методов расчета потерь в линиях электропередачи, актуальным является разработка методики расчета добавочных потерь, учитывающей качество электроэнергии, и способа оценки уровня добавочных потерь в электрических сетях.

1.7. Высшие гармонические составляющие тока и напряжений и их источники в электрических сетях

В последнее время большое внимание уделяется проблеме контроля качества электроэнергии (КЭ) в электрических сетях, о чем свидетельствует большое количество публикаций [10, 40, 41]. Это, прежде всего, аргументируется финансовыми убытками, обусловленными износом и преждевременным выходом из строя электротехнического оборудования, ложными срабатываниями противоаварийной автоматики вследствие негативного влияния низкого КЭ. Так же говорится о необходимости повышения КЭ в связи с глобализацией электроэнергетических систем всех стран для обеспечения глобальной энергетической безопасности [10]. Правовая база в виде государственных и межгосударственных стандартов развита хорошо, однако, как показывает опыт, выполнение требований этих стандартов достигается не в полной мере. Причинами их не полного выполнения являются комплексные проблемы, как дороговизна технических средств контроля и отсутствие надежных и доступных методов мониторинга КЭ. Попытки фундаментальной систематизации и решения этих проблем с точки зрения отечественной науки встречаются в публикациях о современных средствах измерения показателей КЭ, системах мониторинга КЭ в электрических сетях, а также о технических средствах управления КЭ [10, 37, 40].

Высшие гармонические составляющие тока и напряжения в электрических сетях вызывают дополнительные потери электроэнергии в элементах сети, преждевременный выход из строя подстанционного оборудования, негативно сказываются на режимах работы питаемого оборудования, промышленной автоматики и релейной защиты.

Как отмечается в стандарте Европейского союза по качеству электроэнергии [44], гармонические искажения питающего напряжения (в русскоязычной литературе часто называемое «отравлением») обусловлены

главным образом нелинейными нагрузками потребителей электроэнергии подключенных ко всем уровням напряжения питающей сети.

В системах электроснабжения источниками токов частот высшего порядка являются электроприемники с нелинейными вольтамперными характеристиками. Нелинейные электроприёмники, потребляющие несинусоидальный ток при синусоидальной форме питающего напряжения, инжектируют в питающую сеть высшие гармонические составляющие тока, что ведет к падению напряжений на высших частотах и искажению питающего напряжения и другим негативным последствиям [1,13].

При анализе режимов электрической сети несинусоидальную периодическую функцию тока или напряжения разлагают в ряды Фурье, представляя ее в виде суммы спектров гармонических составляющих. Частоты гармонических составляющих тока и напряжения кратны основной частоте питающей сети. Такой ряд можно записать в следующей форме:

$$i(\omega t) = i_0 + i_1 \sin(x + \psi_1) + i_2 \sin(2x + \psi_2) + \dots = i_0 + \sum_{k=1}^{\infty} i_k \sin(kx + \psi_k), \quad (1.8)$$

где i_0 – постоянная составляющая тока, i_1 и i_2 – амплитуды синусной (изменяющейся по синусоидальному закону) составляющей соответственно первой и второй гармоники тока; i_k – амплитуда k -гармонической составляющей; ψ_1, ψ_2, ψ_k – начальные фазы соответственно первой, второй и k -ой гармонической составляющей; k – номер гармонической составляющей; kx – частота k -ой гармонической составляющей.

Еще одним показателем, характеризующим наличие в периодически изменяющемся сигнале высших гармонических составляющих и позволяющим оценить их содержание, является коэффициент искажения синусоидальности. Для тока данный коэффициент определяется по следующей формуле:

$$K_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}}{I_1}, \quad (1.9)$$

где $\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}$, является действующим значением тока высших гармоник $p > 1$; K_I измеряется в процентах.

Очевидно, что чем больше доля высших гармонических составляющих, тем больше данный коэффициент для периодического сигнала.

Уровни высших гармоник тока в системах электроснабжения в нашей стране до настоящего времени не нормируются, хотя их негативное влияние на режим работы сети достаточно подробно проанализировано в [1, 23, 13,43]. Несинусоидальность, как и другие показатели качества напряжения, нормируется стандартом ГОСТ Р 54149-2010 [9].

Основные источники высших гармоник можно объединить в следующие группы:

- полупроводниковая силовая электроника
- электродуговые технологии;
- трансформаторы (из-за намагничивающих токов);
- воздушные линии электропередач (вследствие резонансных режимов).

В наши дни устройства на основе полупроводниковых элементов широко распространены в нагрузках как бытового, так и промышленного характера. Такие устройства базируются на диодах, тиристорах и транзисторах, имеющих нелинейные вольтамперные характеристики. Область применения устройств силовой электроники определяется их техническими характеристиками.

Поскольку нелинейные электрические ключи, работающие в импульсных режимах, являются основными элементами преобразователей переменного напряжения в напряжение постоянного тока, частотных регуляторов скорости вращения двигателей электроприводов и т.д., то такие устройства, будучи

широко распространенными, представляют собой основные источники высших гармонических составляющих тока.

Например, схема Ларионова легла в основу большинства выпрямительных устройств. В зависимости от требований к качеству выпрямленного напряжения такая схема бывает 1; 3; 6-фазного исполнения и выше. Схемы выпрямления с большим количеством фаз вносят меньше искажений в питающую сеть. На промышленных предприятиях в основном применяются 6-фазные и 12-фазные схемы выпрямления, представленные на рисунке 2.

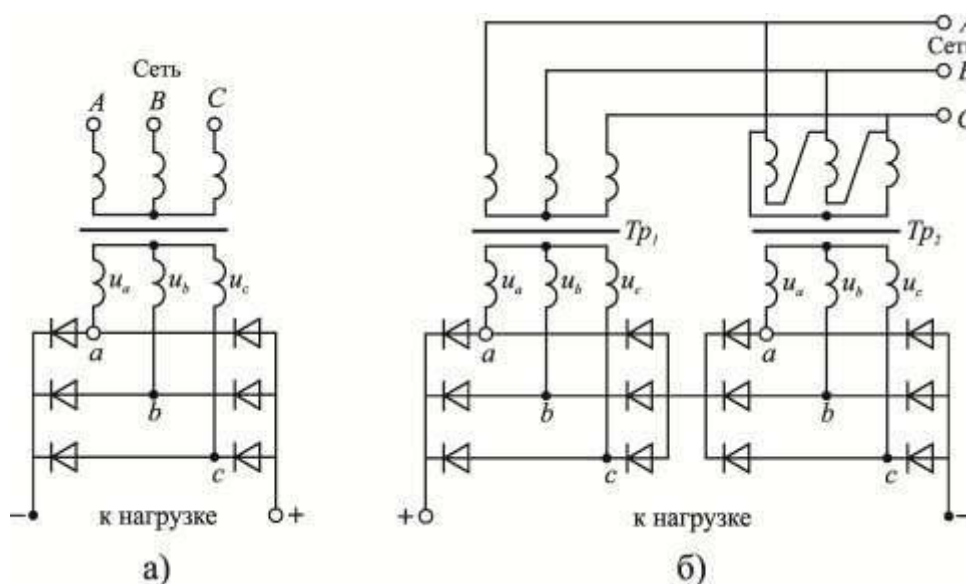


Рисунок 2. Схемы трехфазных выпрямителей: а) 6-фазная; б) 12-фазная

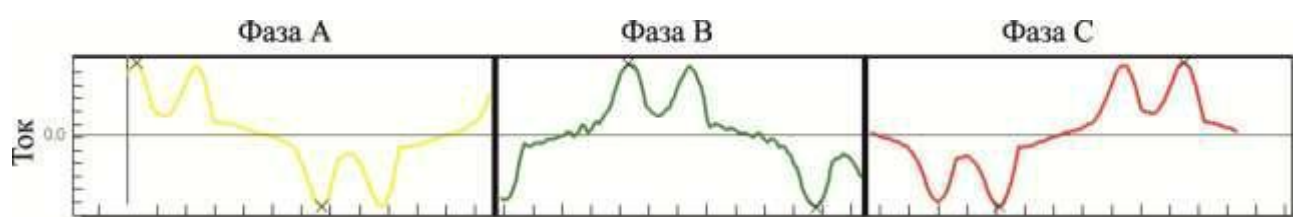
Области применения выпрямителей, имеющих присоединение к общим электросетям переменного тока следующие:

1. Блоки питания бытовой, офисной радио- и электроаппаратуры (в т.ч. так называемые адаптеры (англ. AC-DC adapter));

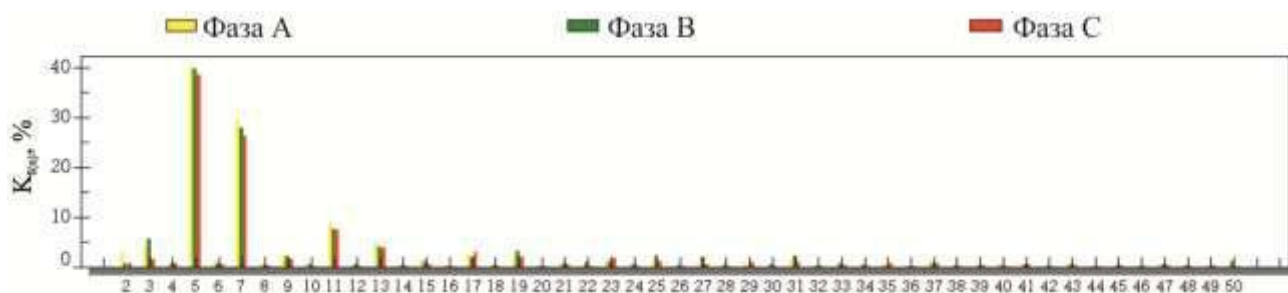
2. Питание главных двигателей постоянного тока прокатных станов, кранов различных тяжёлых производств, подъемных машин постоянного тока горнодобывающей промышленности, тяговые электроприводы электровозов, городской электротранспорт и др.;

3. Сварочные аппараты;
4. Электролизёры для получения цветных металлов и стали, хлора, едкого натра, нанесения металлических покрытий и гальванопластики;
5. Инверторные подстанции дальних передач электроэнергии постоянным током;

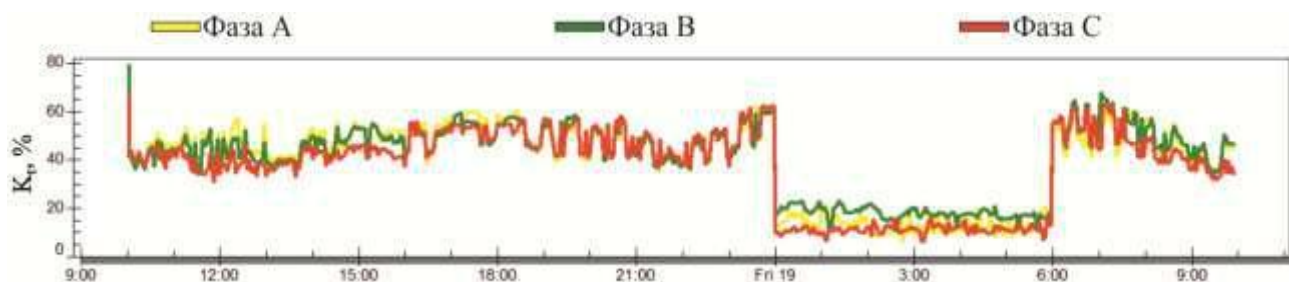
С целью улучшения технико-экономических характеристик перекачивающих агрегатов в нефтедобывающей отрасли, в системах водоснабжения и водоотведения городов приводы переменного тока насосных агрегатов оснащаются частотными регуляторами скорости вращения электродвигателей. На сегодняшний день в нашей стране не все насосные агрегаты оснащены частотными регуляторами скорости вращения электродвигателя, но поскольку их установка позволяет сэкономить много электроэнергии, она является перспективным направлением. Работы в этом направлении уже ведутся [44]. В нефтедобывающей отрасли установка насосов с частотно-регулируемым электроприводом для увеличения скорости вращения способствует существенному снижению наработки на отказ [11].



а)



б)



в)

Рисунок 3. Искажение синусоидальности тока устройством частотного регулирования скорости вращения насосных агрегатов

На рисунке 3 представлены кривая тока, спектр тока и график суточного изменения коэффициента искажения синусоидальности тока, в месте подключения насосного агрегата с устройством частотного регулирования к питающей сети, полученные при инструментальном энергетическом обследовании одной из насосных станций системы водоснабжения г. Омска. Представленные искажения синусоидальности принадлежат насосному агрегату с электродвигателем мощностью 250 кВт [35].

Как видно из рисунка 3, коэффициенты гармонических составляющих тока в устройствах частотного регулирования насосных агрегатов могут достигать 40% и обуславливать коэффициенты искажения синусоидальности до 60%.

Как указывалось выше, питание тяговых электроприводов осуществляется через выпрямители переменного тока. На рисунке 4 представлен спектральный состав токов в линии 110 кВ, питающей тяговую подстанцию.

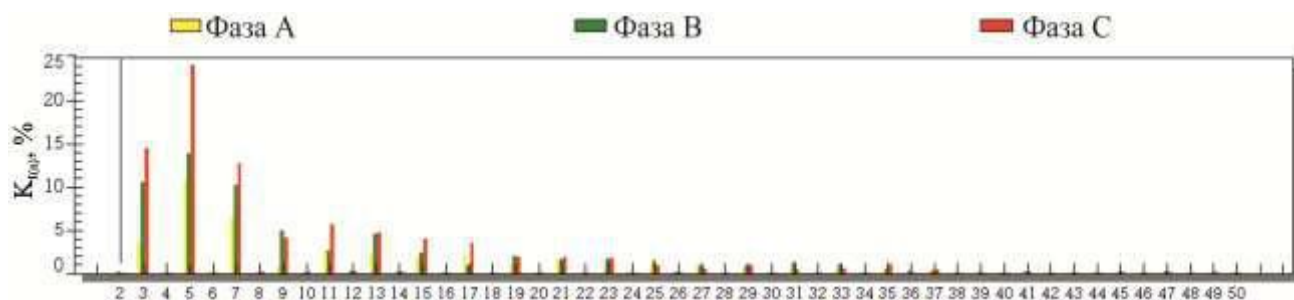


Рисунок 4. Спектральный состав токов в линии, питающей тяговую подстанцию

Работа тяговых электроприводов сопровождается генерацией канонических гармоник тока и их проникновением в питающую сеть, что видно из рисунка 4. При этом токи в линии 110 кВ на основной частоте достигают 60 А. В [22] приводится пример исследования качества напряжения при наличии тяговых нагрузок путем компьютерного моделирования в среде MATLAB Simulink. Электродуговые печи, используемые в металлургии, бывают переменного и постоянного тока. Дуговые печи на переменном токе имеют нелинейную вольтамперную характеристику, нестабильны и несимметричны по фазам. Поэтому такие печи генерируют непрерывный спектр гармоник. Спектральный уровень зависит от типа печи, ее мощности, от рассматриваемой стадии процесса (расплавление, рафинирование и т.д.).

Мощность трансформаторов электродуговых печей достигает 25 тыс. КВА. Точный уровень гармоник, генерируемых такими печами, может быть определен только путем инструментальных измерений. Дуговые печи на постоянном токе питание получают от выпрямителей и поэтому дуга у них более стабильна. Гармонический спектр потребляемого такой системой тока характеризуется как непрерывный (наряду с кратными основной частоте гармониками возникают и не кратные ей), но в меньшей степени, чем у печи на переменном напряжении. И поскольку питание печи осуществляется через выпрямитель, то и, соответственно, имеют место канонические гармоники, подавление которых достигается подключением к общим шинам ФКУ. На рисунке 5 представлен гармонический состав напряжений на шинах и токов

сетевой обмотки трансформатора, к которому подключен выпрямитель. Через него питается электродуговая печь.

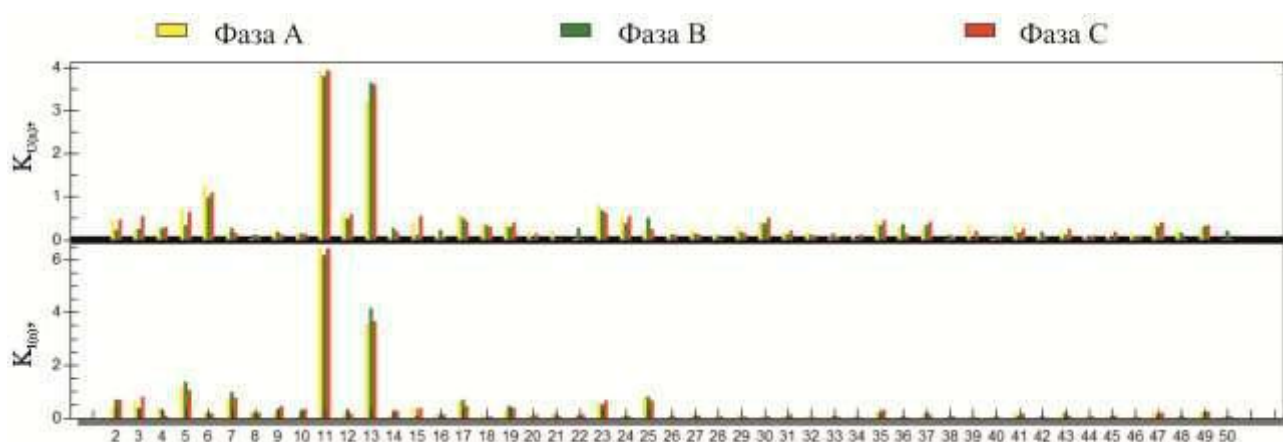


Рисунок 5. Гармонический состав напряжения на первой секции шин и тока сетевой обмотки АКВ-16. ФКУ-1 включено.

Анализируя гистограмму, можно сделать вывод, что гармонический состав тока сетевой обмотки в основном соответствует току выпрямителя, выполненного по эквивалентной двенадцатифазной схеме (рисунок 2, б) с номерами канонических гармоник, определяемых формулой [13] $n=12p \pm 1$, где $p=0, 1, 2, 3, \dots$. В то же время в спектре тока присутствуют и т.н. неканонические гармоники. В первую очередь здесь следует обратить внимание на гармонические составляющие с номерами 5, 7, 17, 19 и т.д., которые присутствуют в вентильных обмотках, но должны взаимно компенсироваться в сетевой обмотке. Присутствие данных гармоник в токе сетевой обмотки объясняется неполной их взаимной компенсацией (т.н. токи небаланса) вследствие неодинаковости коэффициентов трансформации обмоток, соединенных в треугольник и в звезду и, соответственно, неравенством токов вентильных обмоток.

В электрических сетях одним из основных источников высших гармоник являются силовые трансформаторы, в которых в процессе насыщения сердечника возникают гармоники, кратные трем. Особенно это заметно из

анализа гармонических составляющих напряжений в электрических сетях 110 кВ, представленного в [31]. Сопротивление индуктивности с насыщающимся сердечником зависит от амплитуды тока, протекающего через нее, что и вызывает значительную деформацию кривой этого тока. Такие процессы чаще всего происходят в малозагруженных трансформаторах, работающих с перевозбуждением (т.е. при повышенном напряжении) [24].

Еще одним источником высших гармоник непосредственно в электрических сетях являются воздушные линии электропередачи. Соответствующие огромной территории Российской Федерации ВЛ имеют протяженности в сотни и тысячи километров. В длинных линиях (особенно слабо загруженных), как правило, наблюдаются резонансные режимы. Причины их возникновения связаны с емкостью проводов относительно земли и друг друга и собственной индуктивностью ВЛ. В зависимости от длины и загрузки линии на определенных частотах эти емкости и индуктивности создают резонансные режимы, что, в свою очередь, обуславливает возникновение токов и напряжений этих частот, рисунок 6. На представленной гистограмме видно, что на 29-ой гармонике напряжения имеет место всплеск до 1%. Это объясняется наличием эффекта резонанса на данной частоте в конце линии [22].

Источниками несимметрии токов являются несимметрично распределенные нагрузки, однофазные и двухфазные электротехнологические установки большой мощности, в том числе тяговые [39, 42]. Несимметрия параметров и нештатные режимы электрических сетей обусловлены несимметричностью параметров элементов. Так, для обеспечения симметрии параметров длинных ЛЭП через определенные расстояния выполняют транспозицию фаз, тем самым обеспечивая более менее равномерное распределение взаимной индукции проводов, тросов и емкости вдоль трассы линии [2, 26,32].

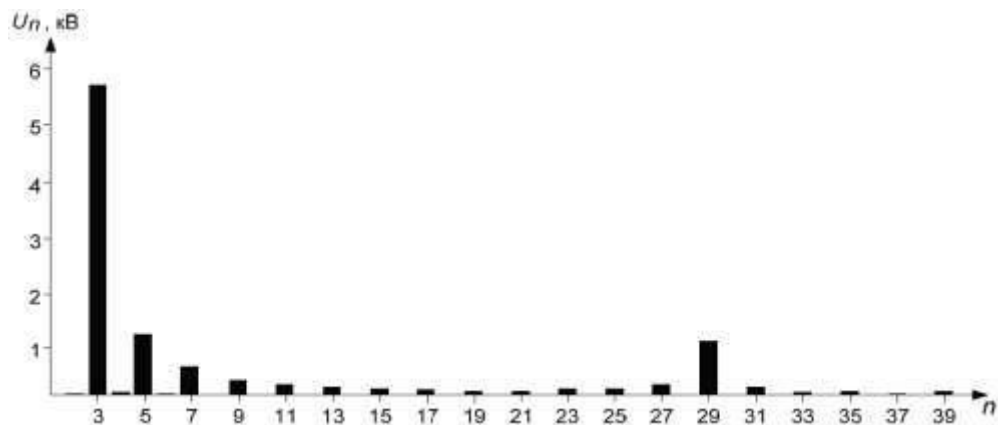


Рисунок 6. Гармонический состав напряжений на конце линии 110 кВ
длинной 100 км

Постоянный рост населения Земли и душевого потребления электроэнергии, в том числе за счет оснащения квартир бытовой электропотребляющей техники с нелинейными ВАХ, обостряют проблему добавочных потерь и снижения эффективности функционирования электрических сетей. Разработка эффективных мер нейтрализации этих негативных эффектов становится все более насущной задачей.

1.8. Основные мероприятия по сокращению технологических потерь

Существуют два магистральных направления снижения технологических потерь электроэнергии и мощности при их передаче по линиям: 1) реализация комплекса технических/технологических мероприятий, 2) осуществление организационных мероприятий.

Многочисленные и разноплановые мероприятия по сокращению технологических потерь электроэнергии в сетевом хозяйстве можно представить в виде 4 групп [15, 18]:

1. Оптимизация схемных и режимных параметров в условиях эксплуатации и оперативного управления электрических сетей.

2. Строительство, реконструкция и развитие сетей, ввод в работу энергосберегающего оборудования.

3. Уточнение расчетов нормативов потерь, балансов электроэнергии, центрам питания и электрической сети в целом.

4. Стимулирование снижения потерь, повышение уровня квалификации персонала, контроль эффективности его деятельности.

Согласно многим авторам, специализирующимся в области расчета и снижения потерь в электрических сетях, существенное влияние на уровень потерь оказывают перетоки реактивной мощности. Поэтому компенсация реактивной мощности и оптимизация потокораспределения являются одними из наиболее эффективных мероприятий по снижению потерь в электрических сетях. Этим мероприятием, как правило, сопровождается оптимизация по уровню напряжения.

Существует ряд организационных мероприятий, направленных на поддержание оптимального режима схемы, такие, как например, сокращение времени ремонта на подстанциях, ремонт установок под напряжением. Так же к организационным мероприятиям относится отключение недогруженных трансформаторов при малых нагрузках и перевод нагрузки отключенных трансформаторов на другие трансформаторы той же подстанции.

Дорогостоящим техническим мероприятием является замена недогруженных или перегруженных установок (трансформаторов, проводов ВЛ) на другие, которые будут работать при номинальных технических характеристиках.

Высшие гармоники не рассматриваются в качестве причин потерь мощности и электроэнергии. Их рассматриваются лишь как источники помех, ухудшающих питающее напряжение. Поэтому мероприятия по их устранению относятся к вопросам обеспечения качества напряжения или электромагнитной совместимости.

Заключение по разделу

1. Фактический уровень потерь электроэнергии в электрических сетях России высок по сравнению с уровнями потерь в других развитых странах. Это свидетельствует об актуальности повышения эффективности транспорта электроэнергии в России. Для определения истинного потенциала повышения энергоэффективности сетей и способов его реализации необходимо детальное изучение структуры потерь, выявление источников сверхнормативных потерь и выработка эффективных мероприятий по снижению их уровней.

2. Применяемые методы расчета потерь в электрических сетях просты по принципу и в использовании в ущерб точности. Они не учитывают несинусоидальности токов, а известные методы, предполагающие учет качества электроэнергии, не учитывают распределенность параметров на высших гармониках, несимметрию параметров и несимметрию токов основной и высших гармоник. Поэтому необходимы новые методы расчета потерь, которые в полной мере учитывали бы особенности режимных и системных параметров.

2. Математическая модель режима многопроводной линии, и ее экспериментальная проверка.

2.1. Параметры кабеля АПвП2г 1×400/120 100 кВ

В настоящее время производятся и эксплуатируются кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение до 550 кВ. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (российское обозначение – СПЭ, английское – XLPE, немецкое – VPE, шведское – PEX) в полной мере отвечают все более жестким требованиям по качественному и надежному обеспечению потребителя электроэнергией. Благодаря радиальной конструкции, диэлектрическим характеристикам сшитого полиэтилена и технологии производства удается достичь рекордно низких показателей по количеству пробоев во время эксплуатации.

Термин «сшивка» подразумевает обработку полиэтилена на молекулярном уровне. В результате этой химической реакции поперечные связи, образующиеся между макромолекулами полиэтилена, создают трехмерную структуру, которая определяет высокие электрические и механические характеристики материала, меньшую гигроскопичность, больший диапазон рабочих температур, прекрасные диэлектрические характеристики.

При производстве кабелей на напряжение 110-220 кВ используется пероксидная сшивка, происходит при помощи пероксидов в среде нейтрального газа при температуре 300–400 °С и давлении 20 атм. Она применяется при производстве кабелей среднего и высокого напряжений [45].

Изменения в свойствах п/э после сшивания:

- повышенная устойчивость к температуре и давлению;
- снижение температуры хрупкости и увеличение стойкости к растрескиванию под напряжением;
- способность восстанавливать форму после деформирования;
- долговечность.

В сравнении с маслонаполненными кабелями на высокое напряжение

кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена имеют ряд преимуществ:

- высокий ток термической устойчивости при К.З.;
- низкая удельная повреждаемость;
- малая гигроскопичность;
- отсутствие масла, битума, свинца обеспечивает минимальное влияние на окружающую среду;
- большие строительные длины;
- повышенная нагрузочная способность, обусловленная более высокой допустимой температурой изоляции в рабочем режиме;
- малый вес;
- малый наружный диаметр, что позволяет уменьшить радиус изгиба кабелей;
- возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- отсутствие жидкостей в конструкции кабеля и подпитывающей аппаратуры, что значительно снижает расходы на сооружение кабельной линии, ее ремонт и эксплуатацию;
- простая технология монтажа муфт и ремонта кабеля

В настоящее время идет замена проложенных ранее кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на среднее напряжение и маслонаполненных кабелей на напряжение 110 (220) кВ на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Широкое использование сшитого полиэтилена в качестве материала изоляции силовых кабелей обусловлено его превосходными диэлектрическими качествами (высокая электрическая прочность, низкий $\tan \delta$, низкая диэлектрическая проницаемость и, вследствие этого, малая емкость) и высокой температурной стабильностью, что позволяет увеличить токовые нагрузки, как в режиме эксплуатации, так и в режиме короткого замыкания.

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена могут прокладываться в воздухе по конструкциям, в земле, в железобетонных лотках, в трубах, в кабельных помещениях (туннели, галереи, эстакады). Условия прокладки кабелей

выбирается на стадии проектирования кабельной линии. В зависимости от условий прокладки выбирают марку кабеля.

Выбор номинального сечения жил и экранов производится с помощью таблиц длительно допустимых токов. При выборе учитываются условия прокладки (в земле или в воздухе), расположение кабелей (в плоскости или треугольником). При больших длинах трасс кабельных линий, превышающих 1 км, чтобы избежать больших потерь в экранах кабелей, может потребоваться один или несколько циклов транспозиции экранов. Соединительные кабельные муфты с выводом экрана для транспозиции устанавливаются в двух местах кабельной линии таким образом, чтобы поделить ее на три примерно равных по длине участка [45].

2.1.1. Конструкция кабеля

На Рисунке 7 представлена типовая конструкция высоковольтного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена, производимая ГК «Севкабель».

При передаче больших токовых нагрузок на высоких напряжениях переменный ток протекает преимущественно во внешних повивах жил кабеля (поверхностный или скин-эффект). Магнитные поля соседних кабелей оказывают возмущающее действие на распределение тока по сечению жилы (эффект близости). Эти эффекты приводят к увеличению сопротивления жилы до 15 %. Повышение сопротивления ведет к увеличению тепловых потерь в жиле. Для снижения потерь используется специальная конструкция жилы – «Милликен» (жила скручивается из изолированных сегментов) [45].

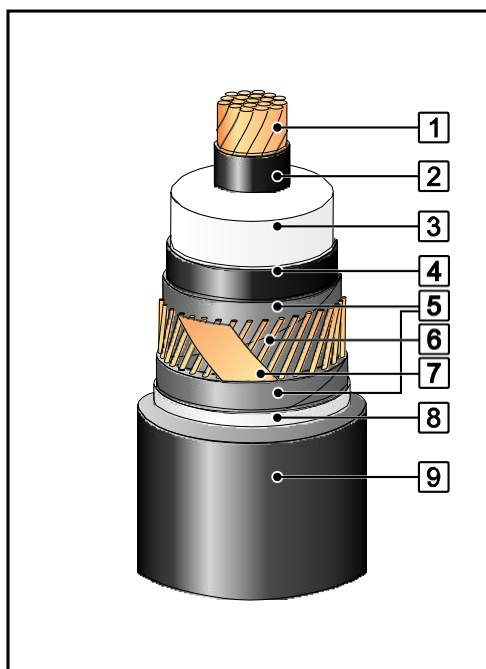


Рисунок 7 – Схема кабеля

Конструкция:

1. Многопроволочная, круглая, уплотненная токопроводящая жила, алюминиевая или медная, класс гибкости жилы 1. Жилы сечением 1000 мм^2 и 1200 мм^2 – сегментированные, скрученные по системе «Милликен».
2. Внутренний экструдированный электропроводящий слой
3. Изоляция из пероксидноштитого полиэтилена
4. Внешний экструдированный электропроводящий слой
5. Слой обмотки электропроводящей полимерной лентой или электропроводящей бумагой, или электропроводящей водоблокирующей лентой (кабели с индексом «Г» или «2Г»)
6. Экран из медных проволок. Возможно введение в экран распределенного оптического датчика температуры
7. Медная лента
8. Алюмополимерная лента для кабелей с индексом «2Г»
9. Наружная оболочка из полиэтилена

Массогабаритные параметры кабеля АПвП2Г приведены в таблице 2 [45].

Таблица 2. Массогабаритные параметры кабеля АПвП2г

Марка кабеля	Материал жилы	Номинальное сеч. жилы/	Диаметр жилы	Диаметр по изоляции, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Масса 1 км кабеля,
АПвП2г	Алюминий	400/120	23,5±0,3	55,5±1,8	71,2+3,5-2,5	5142

Таблица 3. Электрические параметры кабеля

Номинальное сечение жилы, мм ²		400	
Площадь поперечного сечения металлического экрана, мм ²		120/225	
Максимальное электрическое сопротивление постоянному току жилы кабеля при температуре	Ом/ км	0,0470	
Максимальное электрическое сопротивление постоянному току жилы кабеля при температуре	Ом/ км	0,0778	
Максимальное электрическое сопротивление постоянному току металлического экрана при	Ом/ км	0,153	
Расчетные значения индуктивности кабеля	Кабели треугольником вплотную	мГн/ км	0,39/ 0,45
	кабели в одной плоскости с расстоянием 1D	мГн/ км	0,58/ 0,64
Расчетные значения емкости кабеля		мкФ/ км	0,180/ 0,134
Зарядный ток		А/км	3,52

Исследование частотных характеристик входного сопротивления кабельной линии является сравнительно новым направлением в науке и практике. Для данного исследования необходима адекватная математическая модель режима элементов электрической сети. В частности, на данном этапе исследования речь идет о выборе модели режима многопроводной линии.

Как указывалось в первой главе, в существующих методиках расчета

потерь в линиях, режимы принимаются как идеальные и не учитывают потери, обусловленные несинусоидальностью и несимметрией режимов. Также стандартные методики не учитывают несимметрию параметров линий, тогда как абсолютное большинство линий работает в условиях несимметрии системных и режимных параметров.

Для осуществления диспетчерского управления электроэнергетическими сетями и их анализа на основной частоте достаточными являются модели режимов линий с сосредоточенными параметрами. В условиях широкого распространения в электрических сетях несинусоидальности и несимметричности необходимо использовать модели, учитывающие распределенность параметров и многопроводность линии и многих других факторов [19].

В частности, для линий электропередач высокого и сверхвысокого напряжения при моделировании режима необходимым является учет следующих особенностей:

- материал и геометрические параметры применяемых проводов;
- геометрия прокладки проводов (позволяет учесть несимметрию системных параметров линии);
- проявление поверхностного эффекта на частотах высшего порядка;
- распределенность параметров вдоль кабельной линии на частотах высшего порядка;
- несимметрия режимов линии;

Наличие такой модели режима многопроводной несимметричной линии позволит получать объективные значения потерь, обусловленных протеканием токов основной частоты прямой, обратной и нулевой последовательностей, а так же высших гармонических составляющих тока. Ее разработка включает три этапа:

- 1) моделирование погонных параметров линии;
- 2) моделирование режима кабельной линии;
- 3) экспериментальная верификация полученной модели.

Ниже эти этапы создания математической модели.

2.2. Погонные параметры кабельной линии с учетом ее конструктивных особенностей

Конструктивные отличия кабельной линии от воздушной:

- близость токопроводящих жил;
- наличие твердой электрической изоляции с относительной диэлектрической проницаемостью значительно большей, чем у воздуха;
- наличие металлических экранов и оболочек, окружающих каждую или все жилы кабеля;

Определяют существенное различие погонных параметров воздушных и кабельных линий при одинаковых номинальном напряжении и сечении токоведущих элементов.

Допущения, принимаемые при определении погонного активного сопротивления воздушной линии, в случае кабельной линии являются неприемлемыми. Во-первых, влияние поверхностного эффекта и эффекта близости (особенно в жилах крупных сечений) является весьма существенным, и соответственно активное сопротивление значительно отличается от омического. Во-вторых, кабельные линии, как правило, работают при максимально допустимых или близких к ним температурах нагрева жил (до 85-90 °C), и пренебрежение их отличием от 20°C вносит заметную погрешность. Кроме того, помимо потерь активной мощности непосредственно в жиле в кабеле имеют место и потери в других металлических элементах (экранах,

оболочках, броне), которые необходимо учитывать при определении эквивалентного погонного активного сопротивления [45].

Кабельные линии 6-35 кВ ранее сооружались преимущественно с использованием кабелей с бумажной, пропитанной вязким составом изоляцией, которые имеют как медные, так и алюминиевые токопроводящие жилы. Для кабелей 6-10 кВ применяются сечения жил от 10 до 240 мм². При этом у кабелей с медными жилами значения r_0 лежат в пределах от 1,84 до 0,077 Ом/км, а у кабелей с алюминиевыми жилами - от 3,1 до 0,129 Ом/км. Диапазон сечений кабельных линий 35 кВ составляет 120-300 мм² соответственно значения r_0 при медных жилах лежат в пределах 0,153 - 0,061 Ом/км, а при алюминиевых - 0,258 - 0,103 Ом/км [45].

Маслонаполненные кабельные линии 110 - 220 кВ в согласно ГОСТ 16441-78 имеют сечения медных жил от 150 до 800 мм², и соответствующие значения эквивалентного активного сопротивления составляют 0,122 - 0,022 Ом/км. Кабели ПО - 220 кВ с полиэтиленовой изоляцией изготавливают с алюминиевыми жилами сечением 270-800 мм². При этом их погонное активное сопротивление лежит в пределах 0,092-0,04 Ом/км [45].

В силу отмеченных выше особенностей конструкции кабельных линий их погонное индуктивное сопротивление значительно меньше, а погонная емкостная проводимость больше, чем у воздушных линий. Так, например, для маслонаполненных кабельных линий ПО - 220 кВ при сечениях 150 - 800мм² - от 0,2 до 0,11 Ом/км, а у кабелей ПО - 220 кВ с полиэтиленовой изоляцией при сечениях 270-800мм² $x_0 = 0,12-0,1$ Ом/км. Таким образом, погонное индуктивное сопротивление кабельных линий 6-220 кВ в 2-4 раза меньше, чем у воздушных линий тех же номинальных напряжений (около 0,4 Ом/км).

Погонная емкостная проводимость кабельных линий отличается от аналогичного параметра воздушных линий еще в большей степени. Помимо

сближения фаз в общей оболочке или экранирования жил, приводящих к увеличению b_o в той же степени, что и уменьшение x_o (в 2-4 раза), существенное влияние оказывает отличие относительной диэлектрической проницаемости от единицы. Так, бумажная пропитанная изоляция характеризуется значениями $\epsilon = 3,3-3,7$, а полиэтиленовая - 2,3 - 2,5, что приводит к дополнительному увеличению значений погонной емкостной проводимости. Например, у кабелей 110-220 кВ с полиэтиленовой изоляцией меняется от 23 до 103 мкСм/км. Таким образом, по сравнению с аналогичной величиной для воздушных линий с нерасщепленной фазой (около 2,72 мкСм/км) значения b_o для кабельных линий 35-220 кВ оказываются в 8-50 раз больше [45].

Расчет режимов длинных линий высокого напряжения выполняется на основе известных из теории электрических цепей телеграфных уравнений [3, 4, 17, 19, 29]. Важной частью такого расчета является определение собственных и взаимных погонных сопротивлений и проводимостей проводов, которые в общем виде выглядят как:

$$Z = r + jx$$

$$Y = g + jb,$$

Где r , x – активное и индуктивное сопротивление линии, g , b – активная и емкостная проводимость линии. Определение этих погонных параметров линии с высокой степенью точности выполняется на основе классических выражений с применением элементов матричного исчисления [26].

2.2.1 Погонное сопротивление линии

Индуктивное сопротивление линии зависит от магнитного поля, возникающего вокруг и внутри проводов линии. Магнитное поле каждого фазного провода наводит ЭДС в каждом проводе линии. И поскольку величина

потокосцепления зависит от расстояния между проводами, то и ЭДС и, пропорциональное ему индуктивное сопротивление линии зависят от взаимного расположения проводов. Если провода расположены симметрично на одинаковом расстоянии друг от друга, то обеспечиваются одинаковые потокосцепления каждого провода, одинаковые величины наводимых ЭДС и одинаковые индуктивные сопротивления.

В реальных электрических сетях расстояние между фазными проводами различное, зависящее от расположения проводов (горизонтальное, вертикальное и др.). Транспозицией проводов обеспечивается симметрирование наводимых ЭДС и, следовательно, индуктивных сопротивлений.

Индуктивность кабеля при других условиях прокладки рассчитывается по формуле:

$$L = 0,1 + 0,2 \ln \frac{h-r}{r}, \quad (2.1)$$

где: L – индуктивность (мГн/км), h – расстояние между центрами жил кабеля, мм., r – радиус жилы кабеля, мм..

Индуктивное сопротивление рассчитывается по формуле:

$$X_L = 2\pi f \cdot \frac{L}{1000}, \text{ Ом / км} \quad (2.2)$$

где: X_L – индуктивное сопротивление. Ом/км, f – частота (Гц), L – индуктивность (мГн/км).

Принято считать, что собственной индуктивностью фазы является индуктивность петли «провод – земля». При этом за исходное можно принять

полное погонное сопротивление линии «провод – земля», определяемое по формуле Карсона (Ом/км) [5]:

$$\dot{z} = r_{II} + (\pi^2 f + j \cdot 29 f \lg \frac{0,178}{\rho \sqrt{f \gamma \cdot 10^{-9}}}) 10^{-4}, \quad (2.3)$$

где r_{II} - погонное активное сопротивление провода, f – частота тока в линии, ρ – эквивалентный радиус провода в предположении поверхностного распределения тока (при замене внутреннего поля внешним); γ – удельная проводимость грунта.

Для стандартной частоты $f = 50$ Гц из формулы (2.3) можно получить следующую формулу для определения полного сопротивления эквивалентной двухпроводной линии:

$$\dot{z} = r_{II} + 0,05 + j0,145 \lg \frac{D_3}{\rho}, \quad (2.4)$$

где $D_3 = 938 \text{ м} \approx 1000 \text{ м}$ – глубина прохождения эквивалентного тока земли при условии замены ее обратным проводом того же эквивалентного радиуса, м; ρ – для нерасщепленной фазы равняется радиусу провода.

Поскольку прохождение тока в земле связано с потерей активной мощности в ней, то вполне естественно, что наряду с достаточно большим индуктивным сопротивлением цепи обнаруживается некоторое дополнительное активное сопротивление (0,05 Ом/км).

Таким образом, матрица собственных погонных сопротивлений фаз линии обычно получается в следующем виде:

$$\dot{Z} = \dot{Z}_L \cdot l, \quad (2.5)$$

Так как фазные провода обычно выбираем одинаковыми.

Под взаимной индуктивностью обычно понимается величина взаимной индуктивности между петлями «провод-земля». При этом погонное сопротивление взаимной индукции между фазами i и j определяется:

$$x_{\text{м}} = x_{ij} = \omega L_{ij} = 0,1451 \lg \frac{D_3}{D_{ij}}. \quad (2.6)$$

Следовательно, матрица погонных индуктивных сопротивлений фаз линии на данном ее участке имеет вид:

$$x = 0,145(n n_t \lg D_3 - \lg D)^*, \quad (2.7)$$

где матрица геометрических размеров

$$D = \begin{vmatrix} \rho & D_{ab} & D_{ac} \\ D_{ba} & \rho & D_{bc} \\ D_{ca} & D_{cb} & \rho \end{vmatrix}. \quad (2.8)$$

В выражение 2.7 входит столбцевая матрица

$$n = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix}; \quad (2.9)$$

Индекс t обозначает транспозиционную матрицу.

При этом предполагается, что в связи с прохождением тока в земле по прежнему в земле в земле возникают потери активной мощности, которые должны быть учтены таким же активным сопротивлением, как и в цепи «провод-земля»:

$$z = 0,05 + jx_{ij}. \quad (2.10)$$

Поэтому матрица полных сопротивлений фаз линии в целом получается:

$$z = r_{II} \cdot l + 0,05nn_t + jx. \quad (2.11)$$

Расчет активного сопротивления проводов и тросов необходимо производить для каждой гармоники отдельно, так как при повышенных частотах переменного тока проявляется поверхностный эффект, причиной появления которого вихревые токи, возникающие в материале провода под действием переменного электромагнитного поля повышенной частоты.

В соответствии с рекомендациями [3, 28] влияние поверхностного эффекта проявляется с увеличением активного сопротивления провода, таблица 3.

Таблица 3. Формулы определения активного сопротивления провода в зависимости от χ

-	$\chi < 1$	$\chi > 1$	$\chi > 30$
$r_{II} =$	$r_0 \cdot (1 + \chi^{4/3})$	$r_0 \cdot (\chi + 0,25 + 3/64\chi)$	$r_0 \cdot (\chi + 0,265) \approx r_0 \cdot \chi$

Здесь величина χ определяется по формуле:

$$\chi = \frac{R}{2} \sqrt{\omega \mu \gamma / 2}, \quad (2.12)$$

где R – радиус провода, ω - круговая частота, μ , γ - магнитная проницаемость материала и его проводимость, определяемые из справочных материалов.

2.3. Математическая модель режимов линии

Приведенные в предыдущем параграфе матрицы параметров являются исходными для расчета параметров системы телеграфных уравнений, позволяющих рассчитывать изменение напряжений и токов в вдоль трассы линии по модели многопроводной ВЛ, представленной в [5]. Поскольку многопроводная линия представляет собой линейную цепь с распределенными параметрами, то при расчетах несинусоидальных режимов используется принцип суперпозиции.

Телеграфные уравнения несимметричной многопроводной линии электропередачи из m проводов на n -й гармонике имеют вид системы дифференциальных уравнений размерностью $2m$:

$$\begin{aligned}\dot{U}_x(\omega_n) &= e^{-\lambda_u(\omega_n)x} A(\omega_n) + e^{\lambda_u(\omega_n)x} B(\omega_n), \\ \dot{I}_x(\omega_n) &= e^{-\lambda_i(\omega_n)x} C(\omega_n) + e^{\lambda_i(\omega_n)x} D(\omega_n),\end{aligned}\tag{2.13}$$

где $\dot{U}_x(\omega_n)$ и $\dot{I}_x(\omega_n)$ - векторы-столбцы комплексных гармонических составляющих напряжений и токов n -й гармонике на расстоянии x от начала линии размерностью $m \times 1$.

λ_u, λ_i - комплексные квадратные матрицы размерностью $m \times m$, представляющие собой функции матриц параметров линии на частоте n -й гармонике $Z(\omega_n), Y(\omega_n)$ размерностью так же $m \times m$:

$$\lambda_u(\omega_n) = \sqrt{Z(\omega_n)Y(\omega_n)}, \lambda_i(\omega_n) = \sqrt{Y(\omega_n)Z(\omega_n)}.\tag{2.15}$$

Здесь $Z(\omega_n), Y(\omega_n)$ - матрицы собственных взаимных погонных сопротивлений и проводимостей проводов на частоте n -й гармонике размерностью $m \times m$:

$$Z(\omega_n) = \begin{pmatrix} Z_{11}(\omega_n) & Z_{12}(\omega_n) & Z_{13}(\omega_n) \\ Z_{21}(\omega_n) & Z_{22}(\omega_n) & Z_{23}(\omega_n) \\ Z_{31}(\omega_n) & Z_{32}(\omega_n) & Z_{33}(\omega_n) \end{pmatrix},$$

$$Y(\omega_n) = \begin{pmatrix} Y_{11}(\omega_n) & Y_{12}(\omega_n) & Y_{13}(\omega_n) \\ Y_{21}(\omega_n) & Y_{22}(\omega_n) & Y_{23}(\omega_n) \\ Y_{31}(\omega_n) & Y_{32}(\omega_n) & Y_{33}(\omega_n) \end{pmatrix}, \quad (2.16)$$

где $Z_{i,j}(\omega_n), Y_{i,j}(\omega_n)$ - элементы матрицы погонных сопротивлений и проводимостей между проводами i и j на частоте n -й гармоники. Алгоритмы расчета указанных величин приведены на Рисунке 8.

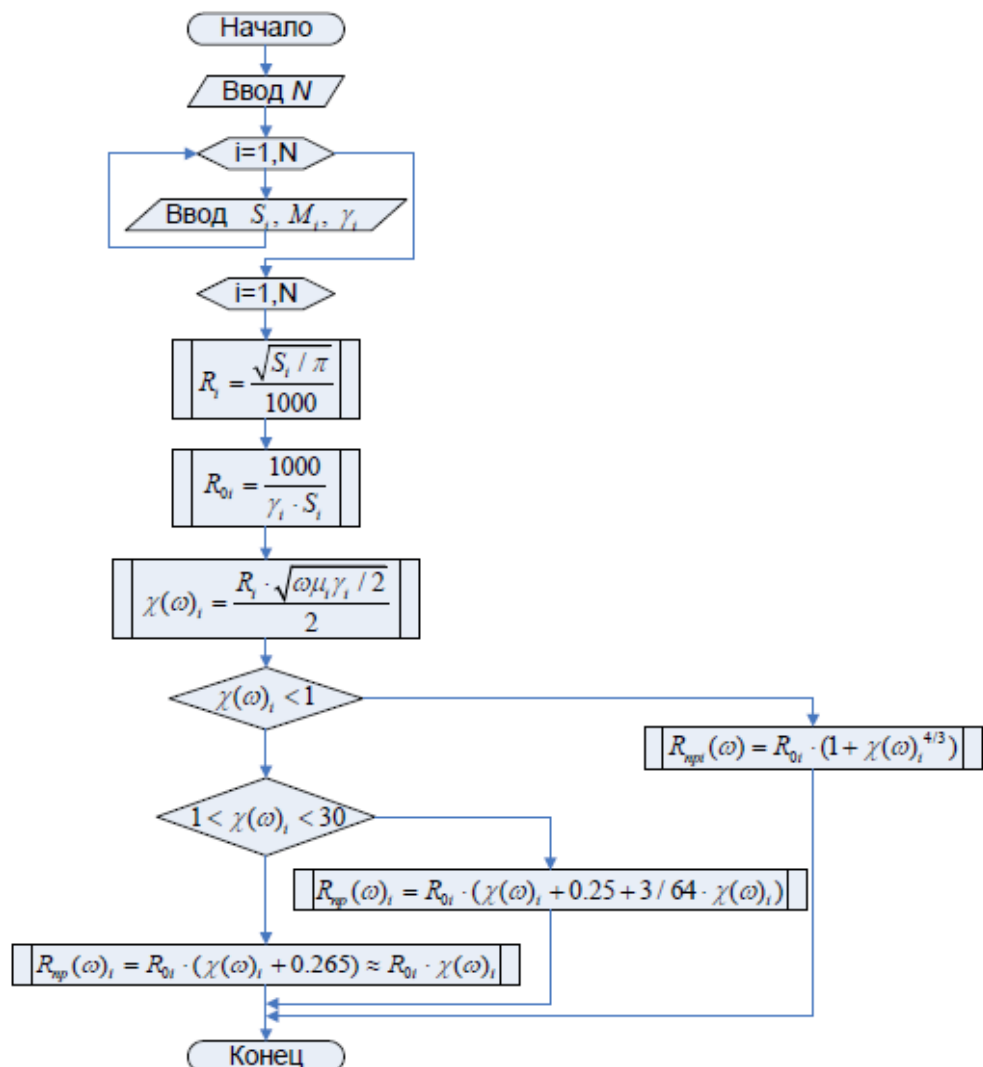


Рисунок 8. Алгоритм расчета матрицы погонных активных сопротивлений многопроводной линии

Задача вычислений матриц $\lambda_u(\omega_n), \lambda_i(\omega_n)$ представляет задачу вычислений функций от матриц $A_u(\omega_n) = Z(\omega_n), Y(\omega_n)$ и $A_i(\omega_n) = Y(\omega_n), Z(\omega_n)$ являющейся произведением матриц, стоящих под знаком квадратного корня. Алгоритм такого вычисления описан ниже.

$A(\omega_n), B(\omega_n), C(\omega_n), D(\omega_n)$ - постоянные векторы-столбцы, независящие от расстояния x размерностью $m \times 1$, вычисляемые из граничных уравнений [3]:

$$\begin{aligned}\frac{d \dot{U}_x}{dx} &= -\dot{Z}(\omega_n) \dot{I}_x = -\lambda_u(\omega_n) e^{-\lambda_u(\omega_n)x} A(\omega_n) + \lambda_u(\omega_n) e^{\lambda_u(\omega_n)x} B(\omega_n); \\ \frac{d \dot{I}_x}{dx} &= -\dot{Y}(\omega_n) \dot{U}_x = -\lambda_i(\omega_n) e^{-\lambda_i(\omega_n)x} C(\omega_n) + \lambda_i(\omega_n) e^{\lambda_i(\omega_n)x} D(\omega_n).\end{aligned}\tag{2.17}$$

Записывая граничные условия для начала и конца линии, получаем комплексные системы алгебраических уравнений:

1) В начале линии:

$$\begin{aligned}-\dot{Z}(\omega_n) \dot{I}_n &= -\lambda_u(\omega_n) A(\omega_n) + \lambda_u(\omega_n) B(\omega_n), \\ -\dot{Y}(\omega_n) \dot{U}_n &= -\lambda_i(\omega_n) C(\omega_n) + \lambda_i(\omega_n) D(\omega_n);\end{aligned}\tag{2.18}$$

2) В конце линии:

$$\begin{aligned}-\dot{Z}(\omega_n) \dot{I}_\kappa(\omega_n) &= -\lambda_u(\omega_n) e^{-\lambda_u(\omega_n)l} A(\omega_n) + \lambda_u(\omega_n) e^{\lambda_u(\omega_n)l} B(\omega_n); \\ -\dot{Y}(\omega_n) \dot{U}_\kappa(\omega_n) &= -\lambda_i(\omega_n) e^{-\lambda_i(\omega_n)l} C(\omega_n) + \lambda_i(\omega_n) e^{\lambda_i(\omega_n)l} D(\omega_n).\end{aligned}\tag{2.19}$$

Процедура определения токов ветви при заданных напряжениях в узлах (в начале и в конце линии) применительно к уравнениям (2.18) и (2.19), описывающим режим единичной ветви, выглядит следующим образом:

1. Векторы-столбцы определяются $A(\omega_n), B(\omega_n)$ путем решения системы матричных уравнений, записываемой на основе первого уравнения системы (2.16) для x соответствующего началу и концу линии:

$$\begin{aligned} \dot{U}_n(\omega_n) &= A(\omega_n) + B(\omega_n); \\ \dot{U}_k(\omega_n) &= e^{-\lambda_u(\omega_n)l} A(\omega_n) + e^{\lambda_u(\omega_n)l} B(\omega_n), \end{aligned} \quad (2.20)$$

где l - длина линии, а индексы n и k обозначают ее начало и конец.

Решение данной системы при использовании блочной формы записи матриц имеет вид:

$$\begin{bmatrix} A(\omega_n) \\ B(\omega_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E & E \\ e^{-\lambda_u(\omega_n)l} & e^{\lambda_u(\omega_n)l} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_n(\omega_n) \\ \dot{U}_k(\omega_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_n(\omega_n) \\ \dot{U}_k(\omega_n) \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

где E – единичная комплексная матрица размерностью $m \times m$.

Откуда

$$\begin{aligned} A(\omega_n) &= H_{11} \dot{U}_n(\omega) + H_{12} \dot{U}_k(\omega); \\ B(\omega_n) &= H_{21} \dot{U}_n(\omega) + H_{22} \dot{U}_k(\omega). \end{aligned} \quad (2.22)$$

2. Определяются векторы-столбцы $C(\omega_n), D(\omega_n)$ путем решения системы матричных уравнений, записываемой на основе второго уравнения системы (2.11) для x соответствующего началу и концу линии:

$$\begin{aligned} \dot{I}_n(\omega_n) &= C(\omega_n) + D(\omega_n); \\ \dot{I}_k(\omega_n) &= e^{-\lambda_i(\omega_n)l} C + e^{\lambda_i(\omega_n)l} D, \end{aligned} \quad (2.23)$$

где l - длина линии, а индексы n и k обозначают ее начало и конец.

Решение данной системы при использовании блочной формы записи матриц имеет следующий вид:

$$\begin{vmatrix} C(\omega_n) \\ D(\omega_n) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} E & E \\ e^{-\lambda_i(\omega_n)l} & e^{\lambda_i(\omega_n)l} \end{vmatrix}^{-1} \times \begin{vmatrix} \dot{I}_H(\omega_n) \\ \dot{I}_K(\omega_n) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \dot{I}_H(\omega_n) \\ \dot{I}_K(\omega_n) \end{vmatrix}, \quad (2.24)$$

где E – единичная комплексная матрица размерностью $m \times m$.

Откуда

$$\begin{aligned} C(\omega_n) &= W_{11} \dot{I}_H(\omega_n) + W_{12} \dot{I}_K(\omega_n); \\ D(\omega_n) &= W_{21} \dot{I}_H(\omega_n) + W_{22} \dot{I}_K(\omega_n). \end{aligned} \quad (2.25)$$

3. определяются векторы-столбцы напряжений и токов в начале и в конце линии $\dot{U}_H(\omega_n), \dot{U}_K(\omega_n), \dot{I}_H(\omega_n), \dot{I}_K(\omega_n)$ с использованием уравнений системы (2.17, 2.18) и с учетом определенных значений векторов-постоянных интегрирования:

$$\begin{aligned} U_H(\omega_n) &= -Y^{-1}(\omega_n)(-\lambda_i(\omega_n)C(\omega_n) + \lambda_i(\omega_n)D(\omega_n)); \\ U_K(\omega_n) &= -Y^{-1}(\omega_n)(-\lambda_i(\omega_n)e^{-\lambda_i(\omega_n)l}C(\omega_n) + \lambda_i(\omega_n)e^{\lambda_i(\omega_n)l}D(\omega_n)). \end{aligned} \quad (2.26)$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_H(\omega_n) &= -Z^{-1}(\omega_n)(-\lambda_u(\omega_n)A(\omega_n) + \lambda_u(\omega_n)B(\omega_n)); \\ \dot{I}_K(\omega_n) &= -Z^{-1}(\omega_n)(-\lambda_u(\omega_n)e^{-\lambda_u(\omega_n)l}A(\omega_n) + \lambda_u(\omega_n)e^{\lambda_u(\omega_n)l}B(\omega_n)). \end{aligned} \quad (2.27)$$

Или с учетом полученных значений векторов $A(\omega_n), B(\omega_n), C(\omega_n), D(\omega_n)$:

$$\begin{aligned} U_H(\omega_n) &= -Y^{-1}(\omega_n)(-\lambda_i(\omega_n)(W_{11} \dot{I}_H(\omega_n) + W_{12} \dot{I}_K(\omega_n)) + \\ &\quad + \lambda_i(\omega_n)(W_{21} \dot{I}_H(\omega_n) + W_{22} \dot{I}_K(\omega_n))); \\ U_K(\omega_n) &= -Y^{-1}(\omega_n)(-\lambda_i(\omega_n)e^{-\lambda_i(\omega_n)l}(W_{11} \dot{I}_H(\omega_n) + W_{12} \dot{I}_K(\omega_n)) + \\ &\quad + \lambda_i(\omega_n)e^{\lambda_i(\omega_n)l}(W_{21} \dot{I}_H(\omega_n) + W_{22} \dot{I}_K(\omega_n))). \end{aligned} \quad (2.28)$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_H(\omega_n) &= -Z^{-1}(\omega_n)(-\lambda_u(\omega_n)(H_{11} \dot{U}_H(\omega_n) + H_{12} \dot{U}_K(\omega_n)) + \\ &\quad + \lambda_u(\omega_n)(H_{21} \dot{U}_H(\omega_n) + H_{22} \dot{U}_K(\omega_n))); \\ \dot{I}_K(\omega_n) &= -Z^{-1}(\omega_n)(-\lambda_u(\omega_n)e^{-\lambda_u(\omega_n)l}(H_{11} \dot{U}_H(\omega_n) + H_{12} \dot{U}_K(\omega_n)) + \\ &\quad + \lambda_u(\omega_n)e^{\lambda_u(\omega_n)l}(H_{21} \dot{U}_H(\omega_n) + H_{22} \dot{U}_K(\omega_n))). \end{aligned} \quad (2.29)$$

Полученные универсальные матричные уравнения, будучи попарно объединенные в системы, образуют математические модели режимов и обеспечивают расчеты в различных постановках расчетных задач.

Важной и сложной является процедура вычисления функций от матриц типа $\lambda_u(\omega_n) = \sqrt{Z(\omega_n)Y(\omega_n)}$, $\lambda_l(\omega_n) = \sqrt{Y(\omega_n)Z(\omega_n)}$, $e^{-\lambda_u(\omega_n)l}$, $e^{\lambda_u(\omega_n)l}$, $e^{-\lambda_l(\omega_n)l}$, $e^{\lambda_l(\omega_n)l}$. Они вычисляются с использованием теоремы Гамильтона-Кэли [20]:

$$f(A) = \frac{1}{\Delta} \sum_{k=1}^n \Delta_{n-k} A^{n-k}, \quad (2.30)$$

Здесь Δ – определитель Вандермонда $\det[\lambda_i^{k-1}]$:

$$W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \begin{pmatrix} 1 & \lambda_1 & \lambda_1^2 & \dots & \lambda_1^{n-1} \\ 1 & \lambda_2 & \lambda_2^2 & \dots & \lambda_2^{n-1} \\ 1 & \lambda_3 & \lambda_3^2 & \dots & \lambda_3^{n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \lambda_n & \lambda_n^2 & \dots & \lambda_n^{n-1} \end{pmatrix}, \quad (2.31)$$

Где λ собственные значения матриц A , а Δ_j – определитель получаемый, если в Δ вместо $\lambda_1^j, \lambda_2^j, \dots, \lambda_n^j$ подставить значения функций $f(\lambda_1), f(\lambda_2), \dots, f(\lambda_n)$.

С помощью представленных выше уравнений можно проводить исследования режимов линий с различным количеством проводов. Кроме того, на основе этих уравнений возможно исследование частотных свойств линий различной длины и определение резонансных частот, определение потерь мощности.

На основе уравнений (2.13) рассчитываются эпюры распределения напряжений и токов вдоль линии для всех гармонических составляющих, учитываемых в расчете. Расчет эпюр распределения напряжений и токов позволяет исследовать их изменение в зависимости от конструктивных

особенностей, марки провода, и проводить соответствующие исследования потерь активной мощности в линии в условиях несимметрии и несинусоидальности [38].

Протекание гармонических процессов в сложных электрических сетях на сегодняшний день не изучено, и это препятствует расчету частотных характеристик и предсказанию условий возникновения резонансных частот в таких сетях. Однако на базе уже разработанной модели оказалось возможным рассчитывать условия возникновения резонансов в радиальных электрических сетях.

2.4. Частотные характеристики кабельной линии электропередачи

Под частотными характеристиками кабельных линий будем понимать зависимость входного сопротивления фал линии от частоты приложенного напряжения.

После проведения реализации программного расчета осуществленного по алгоритму, представленному выше, на рисунках 10 – 18 продемонстрированы частотные характеристики кабельных линий электропередачи, длиной 10, 30, 50, 70 и 100 км, выполненные маркой АПвП2г 1×400/120 100 кВ.

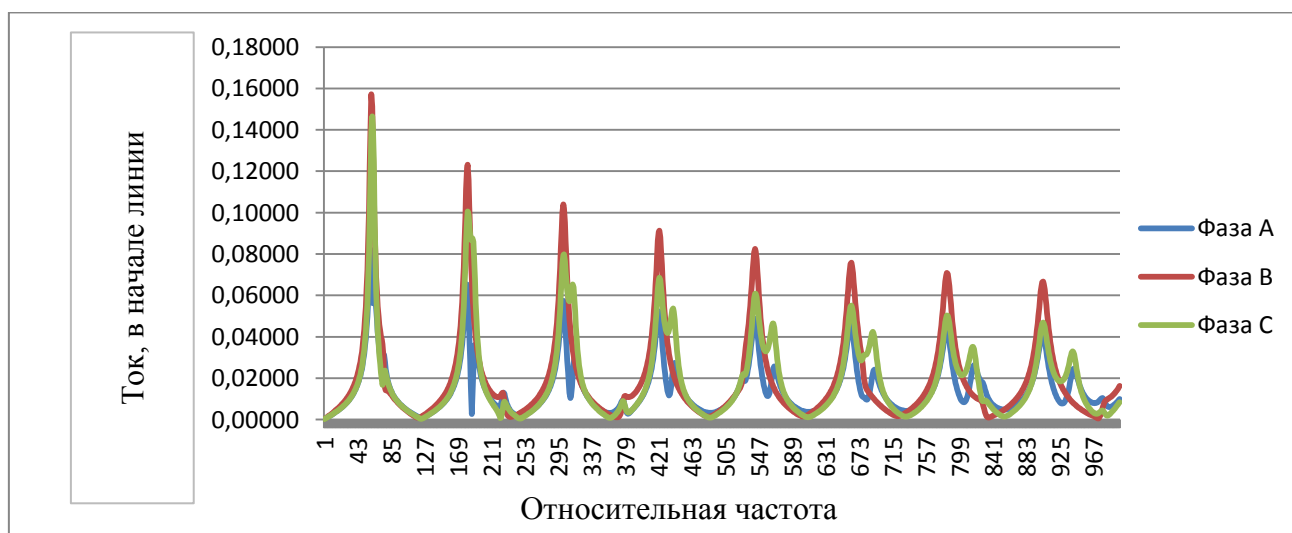


Рисунок 10. Частотные характеристики кабельной линии длиной 10 км

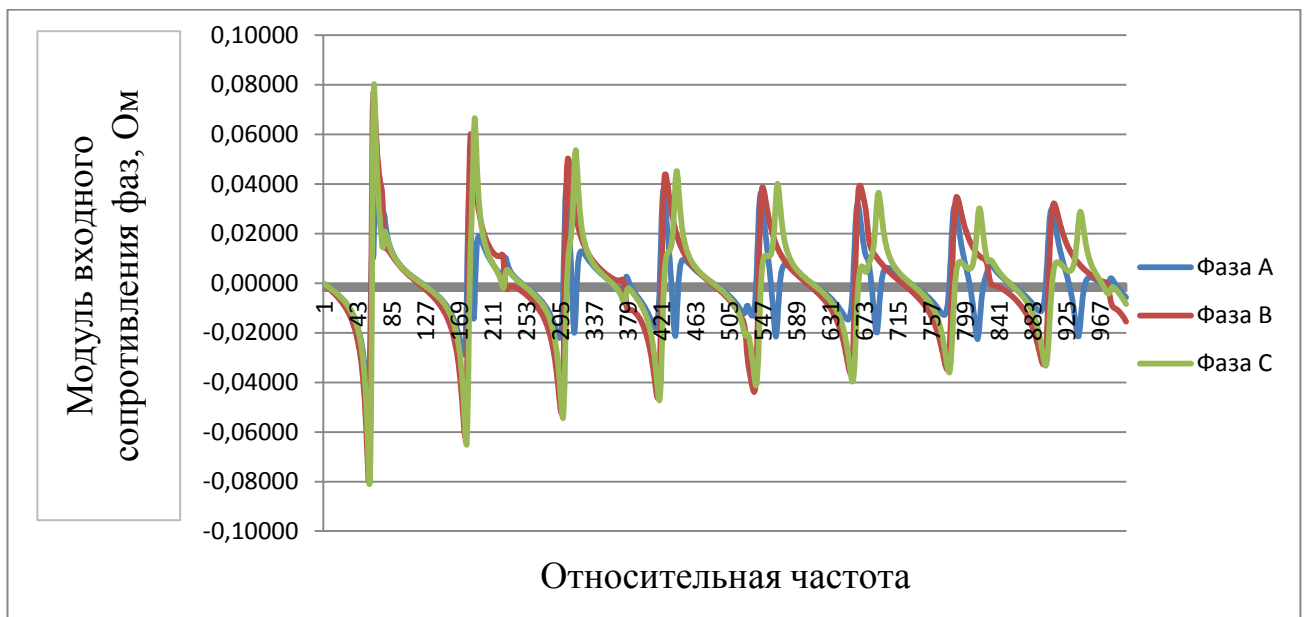


Рисунок 11. Частотные характеристики кабельной линии длиной 10 км

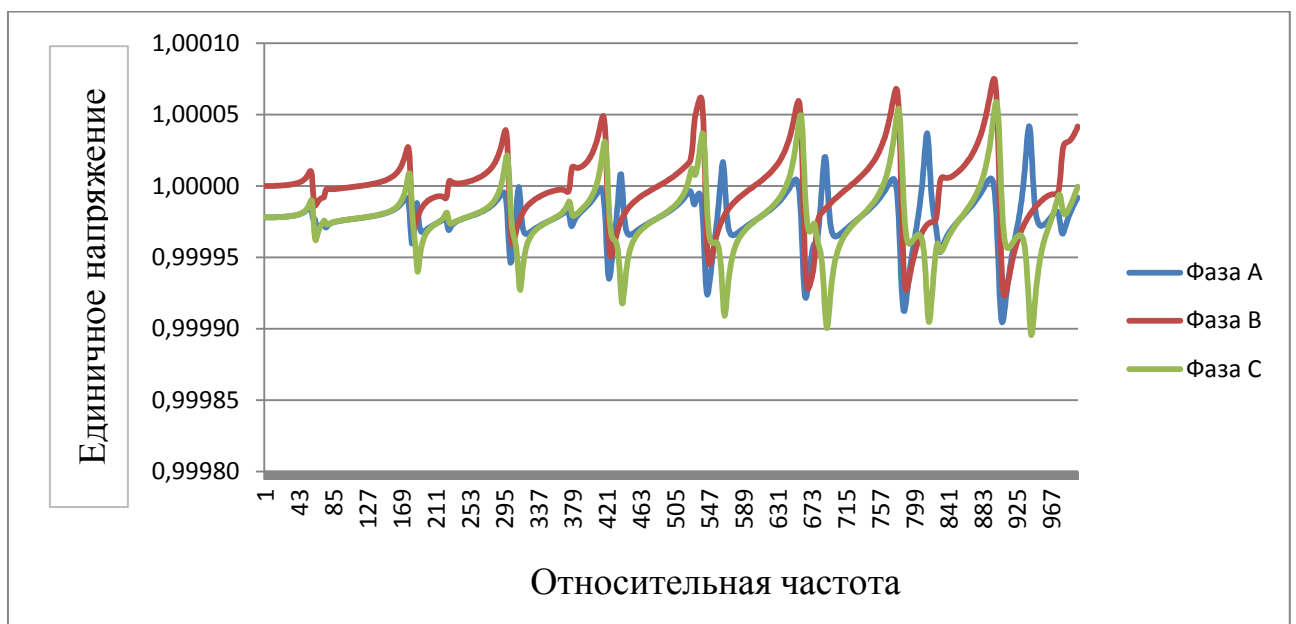


Рисунок 12. Частотные характеристики кабельной линии длиной 10 км

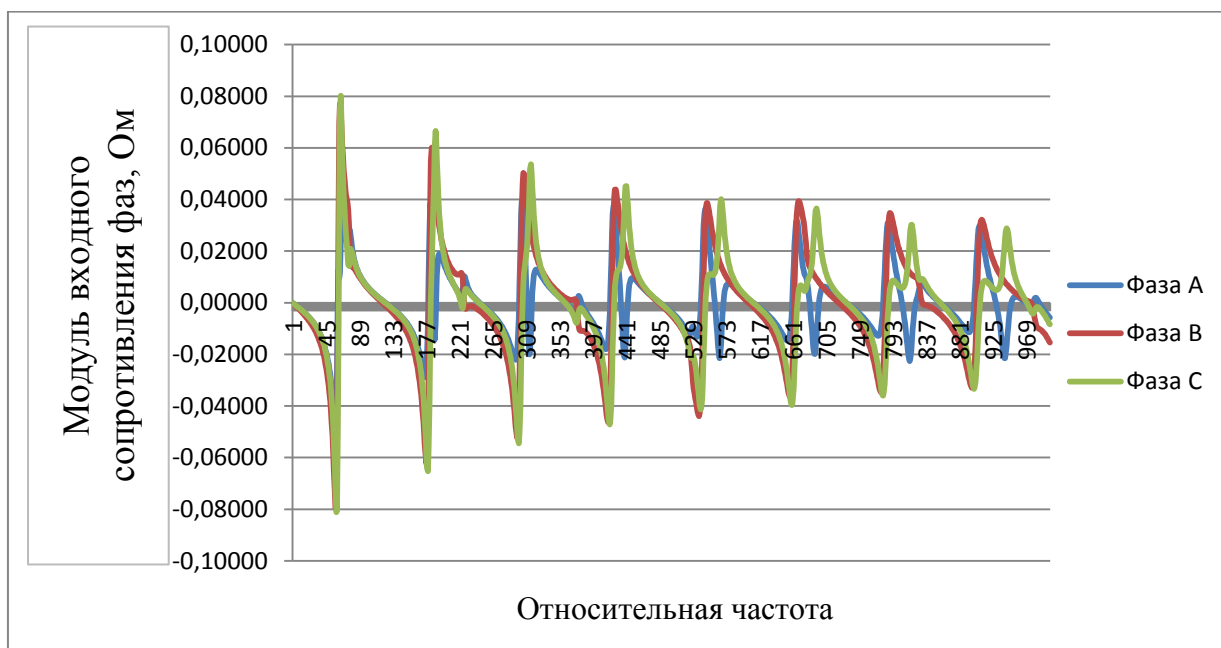


Рисунок 13. Частотные характеристики кабельной линии длиной 30 км

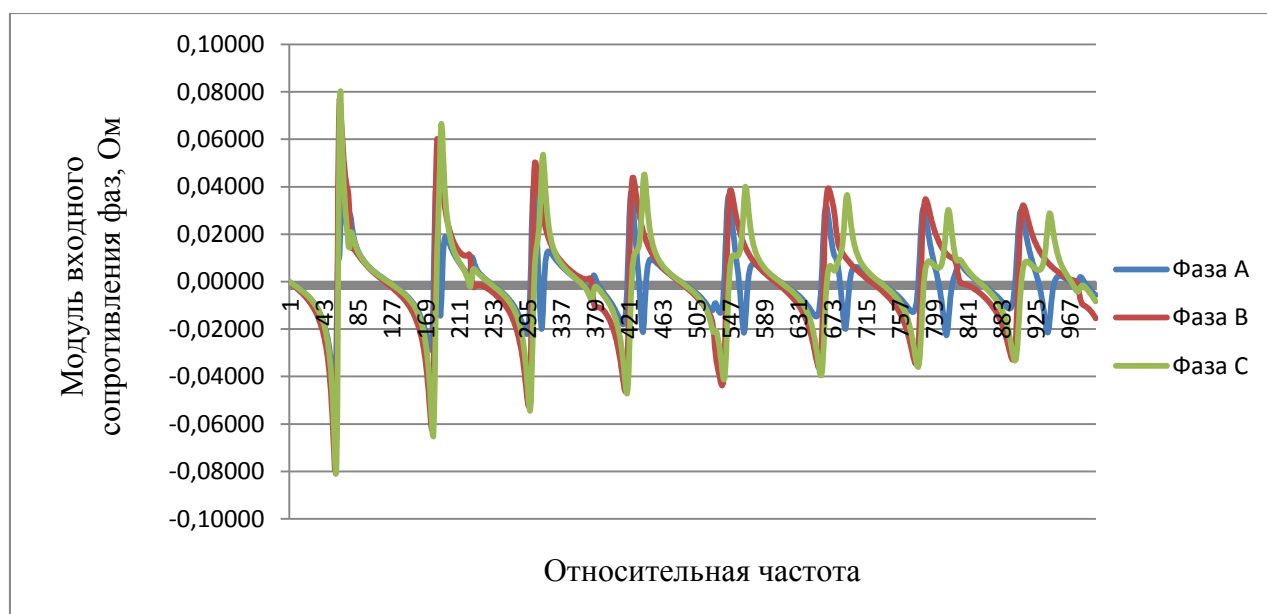


Рисунок 14. Частотные характеристики кабельной линии длиной 50 км

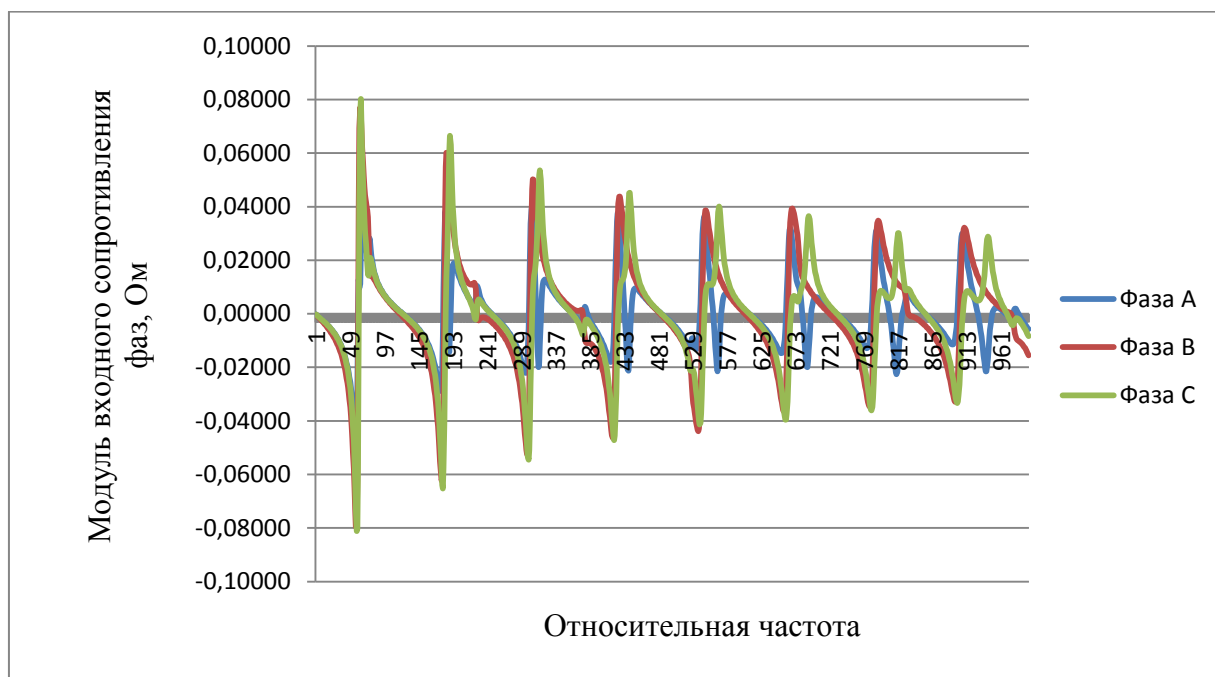


Рисунок 15. Частотные характеристики кабельной линии длиной 70 км

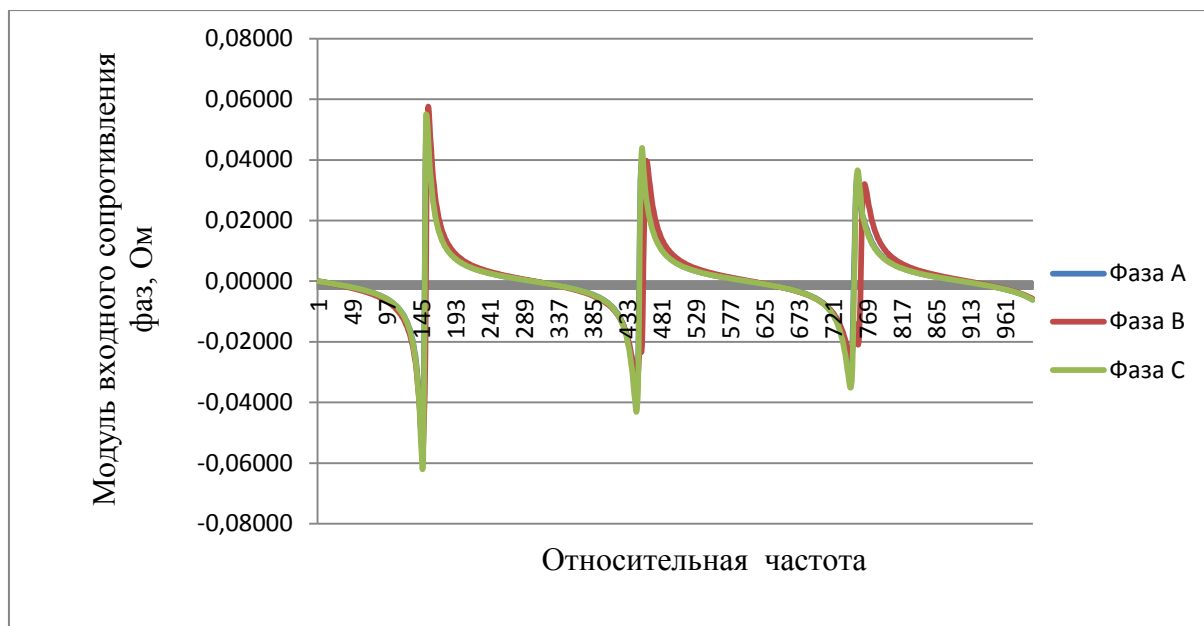


Рисунок 16. Частотные характеристики кабельной линии длиной 100 км

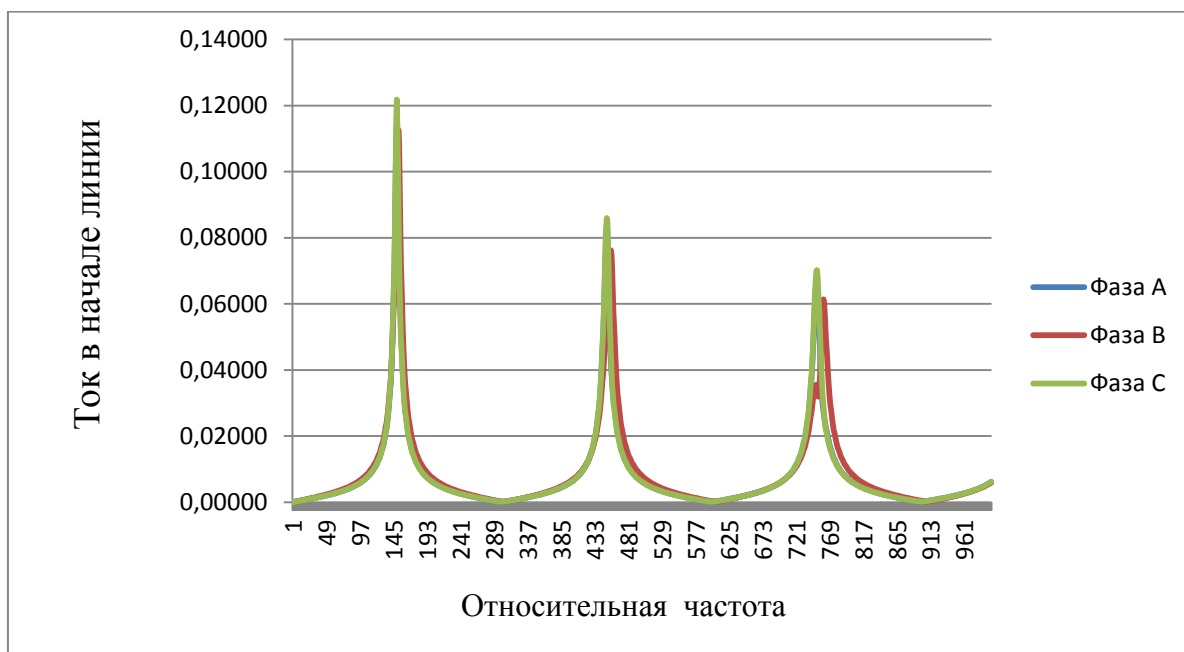


Рисунок 17. Частотные характеристики кабельной линии длиной 100 км

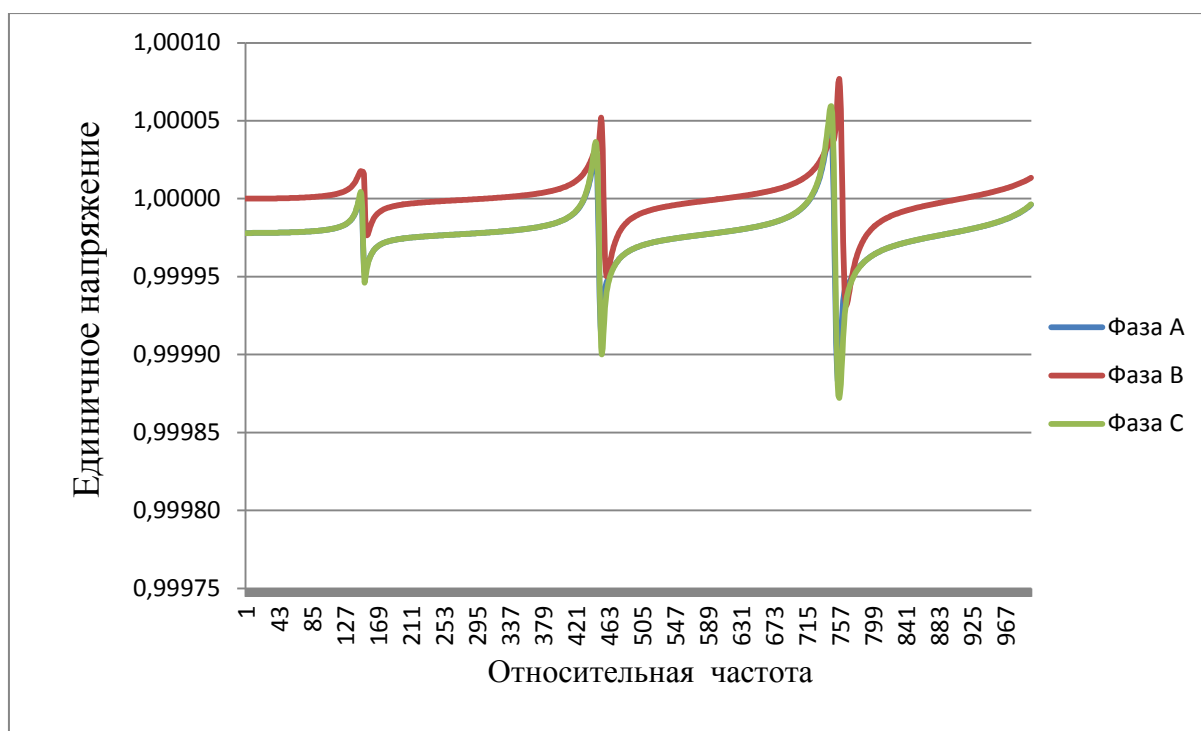


Рисунок 18. Частотные характеристики кабельной линии длиной 100 км

Заключение по разделу

На основании полученных зависимостей можно сделать выводы:

- с увеличением частоты увеличивается поверхностный эффект - эффект уменьшения амплитуды электромагнитных волн по мере их проникновения вглубь проводящей среды. В результате этого эффекта, переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется не равномерно по сечению, а преимущественно в поверхностном слое;

- зависимости входных сопротивлений кабельной линии при изменении частоты имеют полюса, расположение которых зависит от соотношений погонных активных и реактивных сопротивлений и проводимостей. Причиной появления полюсов, является резонанс между индуктивностями и емкостями линии;

- значения входных проводимостей в точках полюсов определяются активными сопротивлениями кабелей и с увеличением частоты резонанса снижаются, что обуславливается увеличением сопротивлений проводов вследствие поверхностного эффекта.

3. Планирование научно-исследовательских работ

3.1. Структура работ в рамках проектирования

Целью данной работы является, расчет материальных и трудовых ресурсов по написанию диссертации на тему «Исследование частотных характеристик кабельных линий электропередачи».

Планирование комплекса предполагаемых работ производится в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения работ по проектированию формируется группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе мы составляем перечень этапов и работ в рамках проведения исследования, производим распределение работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.

Таблица 4 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления Исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления исследований	Студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические исследования	5	Анализ проблемы потерь электроэнергии	Студент
	6	Изучение структуры и видов потерь электроэнергии	Студент
	7	Изучение методик расчета потерь электроэнергии	Студент
	8	Изучение высших гармонических составляющих тока и напряжения	Студент
	9	Изучение мероприятий по сокращению технологических потерь	Студент
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Проведение вычислений и расчетов	11	Анализ инструментального обследования	Студент
	12	Обработка данных полученных в результате инструментального обследования	Студент
Оформление отчета	13	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент

3.1.1. Определение трудоемкости выполнения работ

Важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

3.1.2. Разработка графика проведения проектирования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Пример:

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot t_{\min 1} + 2 \cdot t_{\max 1}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 9}{5} = 5 \text{ чел} - \text{дни},$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,47;$$

На основании таблицы 5 строится календарный план-график. График строится на основе таблице 6 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 5 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	$t_{\min}$, чел-дни		$t_{\max}$, чел-дни		$t_{ож\ i}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление ТЗ	5		10		8		5		8	
Подбор и изучение материалов по теме		10		12		11		8		9
Выбор направления исследований		7		12		9		5		6
Календарное планирование работ по теме	10		15		12		6		8	
Анализ проблемы потерь электроэнергии		8		11		9		6		8
Изучение структуры и видов потерь электроэнергии		5		7		6		5		6
Изучение методик расчета потерь электроэнергии		10		14		12		6		8
Изучение высших гармонических составляющих тока и напряжения		9		13		11		7		9
Изучение мероприятий по сокращению технологических потерь		7		11		9		3		5
Оценка эффективности полученных результатов	6		10		8		4		5	
Анализ инструментального обследования		8		12		10		6		9

Обработка данных полученных в результате инструментального обследования		9		12		10		10		12
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)		10		12		11		7		9

Таблица 6 - Календарный план-график проведения НТИ по теме

№	Вид работ	Исполните ли	T _{кi} кал дн	Продолжительность выполнения работ													
				фев		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководите ль	8														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	9														
3	Выбор направления исследований	Инженер	6														
4	Календарное планирование работ по теме	Руководите ль	8														
5	Анализ проблемы потерь электроэнергии	Инженер	8														
6	Изучение структуры и видов потерь электроэнергии	Инженер	6														
7	Изучение методик расчета потерь электроэнергии	Инженер	8														
8	Изучение высших гармонических составляющих тока и напряжения	Инженер	9														
9	Изучение мероприятий по сокращению технологических потерь	Инженер	5														
10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководите ль	5														
11	Анализ инструментального обследования	Инженер	9														
12	Обработка данных полученных в результате инструментального обследования	Инженер	12														
13	Составление пояснительной записки (эксплуатационно- технической документации)	Инженер	9														

■ - Руководитель, ▨ Инженер

Итого длительность работ в календарных днях руководителя равняется 21 день, а инженера 81 день.

3.2. Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносим в таблицу 7

Таблица 7 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z_m), руб.
Тетрадь	Штука	1	60	60
Ручка	Штука	1	30	30
Бумага формата А4	Упаковка	1	200	200
Картридж	Штука	1	600	600
Итого				890

3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью входит основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме проектирования. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 8.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (3.1)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $Z_{\text{осн}}$).

Таблица 8. - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб
1	Составление ТЗ	Руководитель	8	2043	16344
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	9	718	6462
3	Выбор направления исследований	Инженер	6	718	4308
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	8	2043	16344
5	Анализ проблемы потерь электроэнергии	Инженер	8	718	5744
6	Изучение структуры и видов потерь электроэнергии	Инженер	6	718	4308
7	Изучение методик расчета потерь электроэнергии	Инженер	8	718	5744
8	Изучение высших гармонических составляющих тока и напряжения	Инженер	9	718	6462
9	Изучение мероприятий по сокращению технологических потерь	Инженер	5	718	3590
10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	5	718	3590
11	Анализ инструментального обследования	Инженер	9	718	6462
12	Обработка данных полученных в результате инструментального обследования	Инженер	12	718	8616
13	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	9	718	6462
Итого:					109514

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}}, \quad (3.2)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (3.3)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $З_{\text{тс}}$ находится из произведения тарифной ставки работника: для инженера - 8000, для руководителя - 22000, на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке.

Пример:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 8000 \cdot (1 + 0.3 + 0.15) \cdot 1.3 = 15080 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{дн}} = 15080 / 21 = 718 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 9.

Таблица 9 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб.дн.	$З_{\text{осн.}}$, руб.
Руководитель	22000	0,3	0,2	1,3	42900	2043	15	30645
Инженер	8000	0,3	0,15	1,3	15080	718	63	45234
Итого								75879

3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (3.4)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 109514 = 16427$$

3.4.1. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (3.5)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1

ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%¹.

$$З_{внеб} = 0,271 \cdot (109514 + 16427) = 34130.$$

3.5. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр}, \quad (3.6)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$З_{накл} = 109514 \cdot 0,16 = 17522 \text{ руб.}$$

3.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проектирования

Рассчитанная величина затрат проектирования работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на проектирование по каждому варианту исполнения приведен в таблице 10.

Таблица 10. Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Примечание	
	руб	В%
Материальные затраты НТИ	890	0,51
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	109514	61,35
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16427	9,20
Накладные расходы	17522	9,82
Отчисления во внебюджетные фонды	34130	19,12
Бюджет затрат НТИ Сумма ст.	178483	100

3.7. Оценка рисков проекта

При расчетах и анализе данных возможно проявление негативных факторов, приводящих к дополнительным затратам или ущербу. Эти факторы формируются во внешней среде, но могут нести в себе негативные последствия. Такие факторы называются рисками проекта. Различают достаточно большое количество рисков и видов влияния.

Для данного проекта были выделены следующие группы рисков:

- 1) экономические;
- 2) социальные;
- 3) политические;
- 4) технологические.

Каждая группа рисков включает в себя отдельные риски, проявление которых возможно на пути реализации проекта. Все риски записаны в таблицу 11.

Для определения общего риска проекта необходимо определить вероятность возникновения рисков в каждой группе. Для этого определена вероятность возникновения каждого риска p_i в процентах, где значение от 0 до 25% – очень малая вероятность возникновения риска, от 25 до 50% – средняя вероятность риска, от 50 до 75% – большая вероятность риска, от 75 до 100% – очень большая вероятность возникновения риска.

Для каждого риска определен его ранг b_i , который показывает значимость риска. Весовой коэффициент риска w_i – это отношение ранга риска в сумме рангов всех рисков, входящих в группу:

$$w_i = \frac{b_i}{\sum b_i} \quad (3.7)$$

где w_i – весовой коэффициент риска; b_i – ранг риска.

Далее определена итоговая оценка риска по формуле:

$$t_i = p_i \cdot w_i \quad (3.8)$$

где t_i – оценка риска; p_i – ранг риска; w_i – весовой коэффициент риска..

Данные расчеты проведены для каждого риска и определена итоговая оценка группы риска, как сумма всех оценок рисков, входящих в группу.

$$t_{gp} = \sum t_i \quad (3.9)$$

где t_{gp} – оценка риска группы; t_i – оценка риска.

Все расчеты для упрощения сведены в таблицу 11.

Таблица 11. Проведение экспертизы рисков

Экономические	p_i	b_i	w_i	t_i
1 Рост цен	50	5	0,31	15,5
2 Инфляция	50	5	0,31	15,5
3 Изменение налогообложения	25	4	0,25	6,25
4 Непредвиденные расходы	25	2	0,125	3,125
Итого:		16	1,0	40,37
Социальные				
1 Несоблюдение техники безопасности	25	5	0,5	12,5
2 Отсутствие командной работы	50	3	0,3	15
3 Потеря и хищение имущества	25	2	0,2	5
Итого:		10	1,0	32,5
Технологические				
4 Сложность применяемых технологий	25	5	0,56	14
5 Травмоопасность подготовленных этапов	25	4	0,44	11
Итого:		9	1,0	25
Политические				
1 Нарушение действующего законодательства	25	7	0,54	13,5
2 Запрет на реализацию проекта	25	6	0,46	11,5
Итого:		13	1,0	25

Определив вероятность возникновения рисков каждой группы, произведена оценка общего риска проекта. Для этого определен ранг каждой группы рисков P_i ; вес группы W_i ; вероятность рисков каждой группы V_i приведена в таблице 11. как t_i всей группы. Расчет представлен в таблице 12.

Таблица 12. Оценка общего риска проекта

Риски	Ранг (P_i)	Вес (W_i)	Вероятность (V_i)	Общая оценка проекта
Экономические	6	0.22	40,4	8,88
Социальные	4	0.15	32,5	4,8
Профессиональные	7	0.26	25	6,5
Технологические	10	0.37	25	9,25
Итого:	27	1		29,43

Для того чтобы избежать риски или минимизировать их воздействие на проект необходимо проводить мероприятия по борьбе с рисками. Рекомендуемые мероприятия приведены ниже.

Социальные: отсутствие командной работы – обеспечение квалифицированного персонала всех областей деятельности.

Экономические: рост цен – в последнее время нестабильность на валютном рынке может неблагоприятно отразиться на проекте. Для устранения этого фактора рекомендуется просчитать все расходы с учетом инфляции. Изменение налогообложения – в ближайшее время не планируется.

Технологические: травмоопасность подготовленных этапов – прохождение инструктажа по технике безопасности, допуск до особо ответственных работ только квалифицированный персонал.

Заключение по разделу

В данном разделе менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение представлен расчет трудовых и материальных вложений для проведения научно-исследовательской работы. Определенна структура работ и количество исполнительней работы. Разработан календарный план-график для проведения НИР. Определен бюджет НИР, а также проведена оценка рисков проекта. Таким образом, при учете возможности возникновения факторов, указанных при оценке рисков, а также при применении мероприятий по снижению рисков, предлагаемый проект является реализуемым. В особенности при проведении эксперимента, следует обратить внимание на экономические и технологические риски.

4. Социальная ответственность

Введение

Выполнение работы предполагало нахождение исследователя в нескольких рабочих зонах, среди которых основными являлись: аудитория 04 восьмого корпуса Энергетического института ТПУ – помещение, оборудованное компьютерной и офисной техникой и необходимое для выполнения аналитических исследований по ВКР, выполнения работ, связанных с использованием стандартного и специального программного компьютерного оборудования. В процессе выполнения работы возможно столкновение с различными вредными и опасными факторами, в том числе физического, химического и психофизиологического типа в зависимости от выбранной рабочей зоны: повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; недостаток естественного света; недостаточная освещенность рабочей зоны; неудовлетворительные микроклиматические условия и т.д.

Данный раздел ВКР посвящён характеристике проектных решений, производственных процессов и оборудования, анализу опасных и вредных факторов при данном виде производственной деятельности и решению вопросов безопасности, на основе требований действующих нормативно-технических документов. При этом основное внимание будет уделено анализу рабочей зоны аудитория 04 восьмого корпуса ТПУ.

4.1. Техногенная безопасность

Рабочей зоной является аудитория 04 восьмого корпуса ТПУ. Это помещение линейными размерами 5х5 м, высотой 3 м находится на цокольном этаже здания. Имеется одно окно, в которое практически не проникает солнечный свет. С противоположной от окна стороны находится дверной проем. Кабинет оборудован четырьмя светильниками общего освещения.

Аудитория располагает шестью рабочими местами, оборудованными персональными компьютерами, также помещение оборудовано офисной техникой – двумя многофункциональными устройствами (МФУ). Расположение элементов рабочей зоны приведено на рисунке 9.

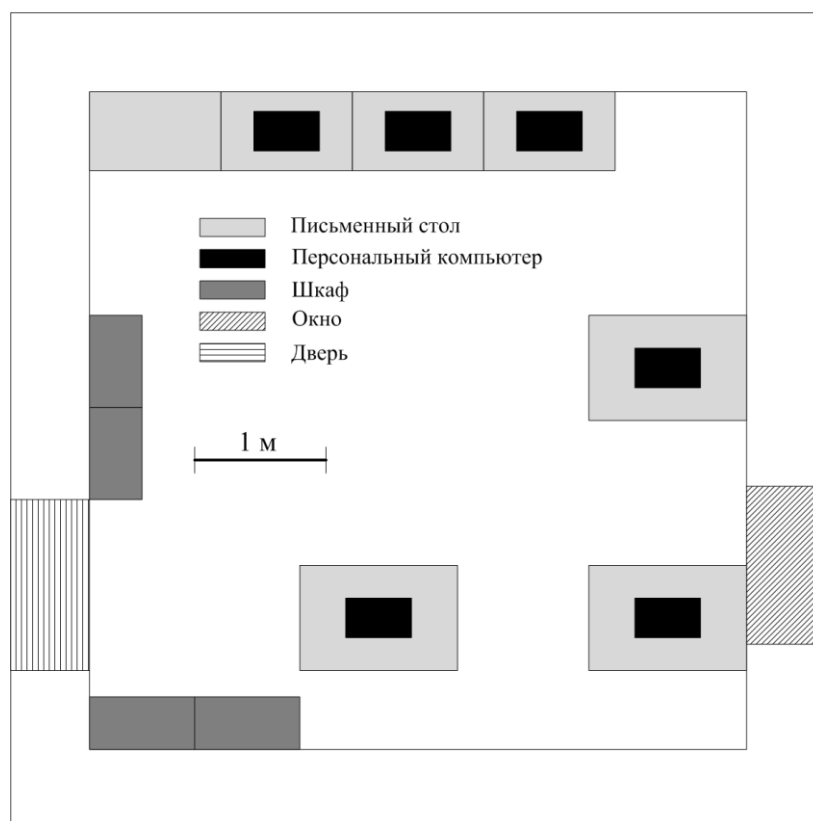


Рисунок 9. План аудитории 04 восьмого корпуса ТПУ

В параграфе «Техногенная безопасность» необходимо проанализировать факторы рабочей зоны на предмет выявления их вредных и опасных проявлений. К первой группе факторов возможно отнести микроклимат помещения, освещение рабочей зоны, электромагнитное поле и шум. В качестве второй группы факторов необходимо рассмотреть возможность поражения электрическим током.

4.1.1. Освещение

Большее количество информации внешнего мира воспринимается человеком через зрительные органы. Качество этой информации зависит в

большей степени от освещенности зоны, в которой находится человек. В случае, если освещение является неудовлетворительным, возможно искажение получаемой информации, утомление зрения и организма в целом, причинение травм вследствие потери ориентации, снижение производительности труда [46].

Одним из основных количественных показателей, характеризующих освещение, является освещенность – это поверхностная плотность светового потока. Единица освещенности – один люкс (лк), это освещенность 1 м^2 поверхности при падении на нее светового потока в 1 лм.

При освещении производственных помещений используют естественное освещение, создаваемое прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода, искусственное освещение, создаваемое электрическими источниками света, и комбинированное освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняют искусственным. В случае данной рабочей зоны естественное освещение недостаточно, поэтому выбору искусственного освещения уделено высокое внимание. Так же необходимо обозначить нормы на рабочих местах, данные виды работ можно отнести к разряду зрительных работ по категории IIб, поскольку данный вид труда можно отнести к очень высокой точности [46-50].

Освещение в помещениях регламентируется нормами в зависимости от характера зрительной работы, системы и вида освещения, фона, контраста объекта с фоном. Характеристика зрительной работы определяется наименьшим размером объекта различения. Основной задачей светотехнических расчётов для искусственного освещения является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещённости. В расчётном задании должны быть решены следующие вопросы [47]:

- выбор системы освещения;

- выбор источников света;
- выбор светильников и их размещение;
- выбор нормируемой освещённости;
- расчёт освещения методом светового потока

1. Выбор системы освещения. Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Для данной рабочей зоны рассчитывается общее равномерное освещение.

2. Выбор источников света. Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на две группы – газоразрядные лампы и лампы накаливания. Для общего освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы как энергетически более экономичные и обладающие большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы. Выбираем люминесцентные лампы стандартной цветопередачи T8 G13, диаметром 26 мм фирмы Philips [48].

3. Выбор светильников и их размещение. Светильник – прибор, перераспределяющий свет ламп внутри больших телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока. При выборе типа светильников следует учитывать светотехнические требования, экономические показатели, условия среды. Выбираем светильник накладной WRS/S, крепящийся на поверхность потолка, под люминесцентную лампу 26 мм (T8 G13), мощностью 4x18 Вт, производитель «Световые Технологии» [49]. Параметры светильника: 610x625x80 мм.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами, м:

$H=2,8$ – высота помещения, м;

$h_c=0,08$ – расстояние светильников от перекрытия (свес), м;

$h_n = H - h_c=2,72$ – высота светильника над полом, высота подвеса;

$h_p=0,7$ – высота рабочей поверхности над полом, м;

$h = h_n - h_p= 2,02$ – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью;

L – расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине (А) и ширине (В) помещения расстояния различны, то они обозначаются L_A и L_B),

l – расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Оптимальное расстояние l от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным $L/3$.

Наилучшими вариантами равномерного размещения светильников являются шахматное размещение и по сторонам квадрата (расстояния между светильниками в ряду и между рядами светильников равны). Разместим светильники по сторонам квадрата.

При равномерном размещении люминесцентных светильников последние располагаются обычно рядами – параллельно рядам оборудования. Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина $\lambda = L/h$ – наивыгоднейшее расстояние между осветительными приборами, уменьшение которого удорожает устройство и обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение ведёт к резкой неравномерности освещённости. Эта величина зависит от кривой силы света светильника. Для косинусной кривой силы света (кривая типа Д), характерной для выбранного светильника, $\lambda = 1,2 \dots 1,6$. Принимаем $\lambda = 1,4$.

Расстояние между светильниками L определяется как:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,02 = 2,83 \text{ м.}$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены:

$$l = L/3 = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,02 = 0,94 \text{ м.}$$

Количество рядов светильников и светильников в ряду одинаково (по причине квадратной формы помещения) определим по формуле:

$$N = M = \frac{A}{L} = \frac{5}{2,83} = 1,77 \approx 2,$$

где A – ширина помещения;

L – расстояние между светильниками.

Общее количество светильников равно:

$$n = N^2 = 2 \cdot 2 = 4.$$

4. Выбор нормируемой освещённости. Основные требования и значения нормируемой освещённости рабочих поверхностей изложены в СНиП 23-05-95 []. Выбор освещённости осуществляется в зависимости от размера объёма различения (толщина линии, риски, высота буквы), контраста объекта с фоном, характеристики фона. В соответствии с требованиями по работе ПК [51], при работе с экраном в сочетании с работой над документами наиболее оптимальной для работы с экраном является освещенность 300 лк.

5. Расчёт общего равномерного освещения

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле [46]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot z}{N \cdot n \cdot \eta} \cdot 100 = \frac{300 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 4 \cdot 53} \cdot 100 = 1459 \text{ лм},$$

где E_n – нормируемая минимальная освещённость, лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, наличие в атмосфере дыма, пыли; для помещения с малым выделением пыли принимаем равным 1,5 [47];

z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{\text{ср.}}/E_{\text{min}}$; для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

N – число ламп в светильнике, шт;

n – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока, %.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен ρ_c и потолка ρ_n .

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = 1,238.$$

Коэффициенты отражения оцениваются субъективно [47]: $\rho_c=50\%$ и потолка $\rho_n=30\%$. Значения коэффициента использования светового потока η светильников с люминесцентными лампами примем равным 53 % [47].

Рассчитав световой поток Φ , зная тип лампы, по таблице 1 выбираем ближайшую стандартную лампу – Philips TL-D 18W/54-765 мощностью 18 Вт. Характеристики такого типа ламп приведены в таблице 13 [48].

Таблица 13. Характеристики выбранного типа ламп

Артикул	Мощность, Вт	Световой поток, Lm	Цветовая температура, К	Цоколь	L, мм	D, мм	Производитель
TL-D 18W/54-765	18	1450	6500	G13	590	26	Philips

Проведенный расчет вполне соответствует реализованному в настоящее время варианту освещения в помещении – четыре светильника с четырьмя люминесцентными лампами по 18 Вт каждая. Приведем план расположения светильников в помещении в соответствии с расчетом (рисунок 10).

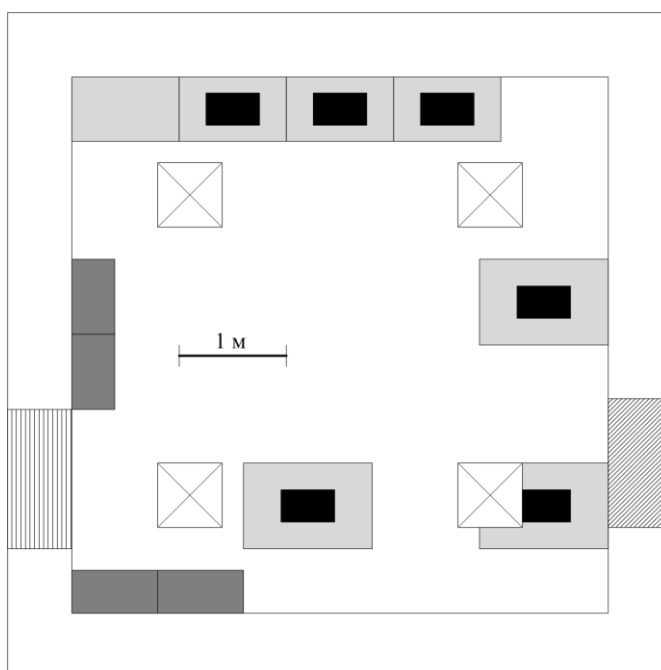


Рисунок 10. План размещения светильников в помещении

4.1.2. Микроклимат

Под микроклиматом производственных помещений понимается климат окружающей человека внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих его поверхностей. Перечисленные параметры – каждый в отдельности и в совокупности – оказывают влияние на работоспособность человека, его здоровье. Человек постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. Для нормального течения физиологических процессов в организме человека необходимо, чтобы выделяемое организмом тепло отводилось в окружающую среду. Когда это условие соблюдается, наступают условия комфорта и у человека не ощущается беспокоящих его тепловых ощущений - холода или перегрева [46-53].

В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и СанПиН 2.2.4.548-96 [51, 54], параметрами, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах. Тип работ, выполняемых в

рассматриваемом помещении, относится к категории Іб. Это работы с интенсивностью энергозатрат от 140 до 174 Вт, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением. Оптимальные величины показателей микроклимата приведены таблице 13 [54].

Таблица 13. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	Іб	22-24	21-25	60-40	0,1

Оптимальные параметры микроклимата в производственных помещениях обеспечиваются системами кондиционирования воздуха, а допустимые параметры — обычными системами вентиляции и отопления [53].

4.1.3. Шум

Шум — беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры. Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях — к глухоте. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте неблагоприятно воздействует на работающих: снижается внимание, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляется скорость психических реакций и т.п. В результате снижается производительность труда и качество выполняемой работы.

Уровни шума на рабочих местах пользователей персональных компьютеров не должны превышать значений, установленных СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [51,52]. Рабочая зона соотносится с категорией «Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность,

измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях». Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для такой категории приведены в таблице 14.

Таблица 14. Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука [52].

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
93 дБ	79 дБ	70 дБ	68 дБ	58 дБ	55 дБ	52 дБ	52 дБ	49 дБ	60

Приведем уровни шума источников в помещения (дБ): жесткий диск – 40, вентилятор – 45, монитор – 17, клавиатура – 10, ноутбук – 40, МФУ – 42.

Для расчета уровня шума, возникающего от нескольких источников, используется принцип энергетического суммирования излучений отдельных источников [46]:

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_i} ;$$

$$L = 10 \lg (5 \cdot 10^{0.1 \cdot 40} + 5 \cdot 10^{0.1 \cdot 45} + 5 \cdot 10^{0.1 \cdot 17} + 5 \cdot 10^{0.1 \cdot 10} + 10^{0.1 \cdot 40} + 2 \cdot 10^{0.1 \cdot 42}) = 45,98 \text{ дБА.}$$

где L_i – уровень звукового давления i -го источника шума; n – количество источников шума.

По расчету получено значение звука в помещении ~ 46 дБА, которое не превышает предельно установленную величину в 50 дБА, что говорит о

соблюдении уровня шума в рабочей зоне. Дополнительно снизить уровень шума в помещениях можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63-8000 Гц для отделки стен и потолка помещений. Также звукопоглощающий эффект создают однотонные занавески из плотной ткани, повешенные в складку на расстоянии 15-20 см от ограждения. Ширина занавески должна быть в 2 раза больше ширины окна [52].

4.1.4 Электромагнитное поле

Электромагнитное поле – это особая форма материи, представляющая собой взаимосвязанные электрическое и магнитное поля. Основными источниками электромагнитных полей в помещении являются системы распределения и потребления электроэнергии; средства визуального отображения информации (мониторы); оборудование на электропитании. Фактически основным источником электромагнитного излучения является ПК, частоты излучения приведены в таблице 15 [53]. Экспериментальные данные как отечественных, так и зарубежных исследователей свидетельствуют о высокой биологической активности электромагнитных полей во всех частотных диапазонах. При относительно высоких уровнях облучающего электромагнитного поля современная теория признает тепловой механизм воздействия. При относительно низком уровне электромагнитного поля (к примеру, для радиочастот выше 300 МГц это менее 1 мВт/см^2) принято говорить о нетепловом или информационном характере воздействия на организм. Механизмы действия электромагнитного поля в этом случае еще мало изучены.

Таблица 15 – ПК как источник электромагнитных полей

Источник	Диапазон частот
Монитор: - сетевой трансформатор блока питания - статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания - блок кадровой развертки и синхронизации - блок кадровой развертки и синхронизации - ускоряющее анодное напряжение монитора (только для мониторов с ЭЛТ)	50 Гц 20 - 100 кГц 48 - 160 Гц 15 - 110 кГц 0 Гц (электростатика)
Системный блок (процессор)	50 Гц - 1000 МГц
Устройства ввода/вывода информации	0 Гц, 50 Гц
Источники бесперебойного питания	50 Гц, 20 - 100 кГц

В России система стандартов по электромагнитной безопасности складывается из ГОСТ [55-57] и СанПиН. Предельно допустимые значения плотности потока энергии электромагнитного поля составляют – 25 мкВт/см^2 в течение 8 часов, 100 мкВт/см^2 в течение 2 часов, при этом максимальное значение не превышает 1000 мкВт/см^2 .

Электромагнитное поле с частотой от 60 кГц до 300 МГц нормируются отдельно по электрической и по магнитной составляющей, т.к. на этих частотах на человека действуют и электрическое, и магнитное поле. Для полей СВЧ диапазона (300 МГц - 300 ГГц) нормируют предельно-допустимую плотность потока энергии, которая не должна превышать 10 Вт/м^2 .

Предельно допустимые уровни электромагнитного поля для ПК приведены в таблице 16.

Таблица 16. Предельно допустимые уровни электромагнитного поля [58]

Источник	Диапазон	Значение ПДУ
Видеодисплейный терминал ПЭВМ	5 Гц - 2 кГц	$E_{пду} = 25 \text{ В/м}$ $B_{пду} = 250 \text{ нТл}$
	2 - 400 кГц	$E_{пду} = 2,5 \text{ В/м}$ $B_{пду} = 25 \text{ нТл}$
	поверхностный электростатический потенциал	$V = 500 \text{ В}$

4.2. Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих вредное и опасное воздействие на работающих электрического тока и электрической дуги. Современное производство характеризуется широким применением различных электроустановок. В этой связи большое значение в общей системе инженерно-экологических мероприятий приобретают вопросы обеспечения электробезопасности. В данном помещении присутствуют только электроустановки напряжением до 1кВ. По электробезопасности помещение относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18—20°, с влажностью 40—50%) [57].

Большинство специалистов и исследователей в области электробезопасности указывают на термические, электролитические, механические, биологические действия, которые производит электрический ток, проходя через организм человека.

Основными техническими средствами защиты, согласно Правилам устройства электроустановок [59], являются защитное заземление, автоматическое отключение питания (зануление), устройства защитного

отключения. Наличие таких средств защиты предусмотрено в рабочей зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

4.3. Пожарная безопасность

Чрезвычайно высокие потоки негативных воздействий создают чрезвычайные ситуации (ЧС), которые изменяют допустимое состояние среды обитания и переводят жизнедеятельность в условия высокой травмоопасности или гибели. При ЧС на первое место выходят задачи защиты от высоких уровней негативного воздействия, ликвидации последствий, реабилитации пострадавших и восстановления повседневной жизнедеятельности.

Одним из наиболее распространенных и опасных видов ЧС является пожар. Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага. Пожары причиняют значительный материальный ущерб, в ряде случаев вызывают тяжелые травмы и гибель людей. основополагающими законодательными актами в области пожарной безопасности являются Федеральные законы "О пожарной безопасности" и "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [59, 60], определяющие общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации.

Как известно для возникновения пожара или взрыва необходим источник воспламенения. Наиболее распространенными являются источники электрического происхождения. Устойчивость функционирования объекта при возникновении пожара зависит от огнестойкости элементов оборудования и зданий, от их конструктивной и функциональной пожарной опасности, от наличия на объекте средств локализации и тушения пожаров и возможностей их своевременного применения. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [60] регламентирует классификацию зданий по степени

огнестойкости, конструктивной и функциональной пожарной опасности. Учебные заведения относятся к классу Ф4.1. По пожарной опасности помещение и здание возможно отнести к классу Д, т.е. к помещениям, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

К основным видам техники, предназначенной для защиты различных объектов от пожаров, относятся средства сигнализации и пожаротушения. В 8 корпусе предусмотрена электрическая пожарная сигнализация. Она должна быстро и точно сообщать о пожаре с указанием места его возникновения. Сигнализация обеспечивает также автоматический ввод в действие предусмотренных на объекте средств пожаротушения и дымоудаления.

Наиболее широко применяемым средством тушения является вода. Для такого способа тушения в 8 корпусе существуют пожарные краны. В качестве первичных средств пожаротушения используют огнетушители. В качестве огнетушителей в корпусе распространены огнетушители углекислотные ОУ-5. Преимущества углекислотных огнетушителей: эффективность тушения жидких и газообразных веществ и электроустановок под напряжением до 1000 В; отсутствие следов тушения; диапазон рабочих температур от -40 °С до +50 °.

Важную роль при возникновении ЧС играет успешная эвакуация людей. Для того чтобы чётко обозначить пути эвакуации, эвакуационные выходы, обеспечивающие безопасность процесса организованного самостоятельного движения людей из помещений, а также указать расположение пожарного оборудования и средств оповещения о пожаре и напомнить о первоочередных действиях при пожаре применяется план эвакуации. Разработка плана эвакуации людей в случае пожара, инструкции к нему, устройство системы оповещения людей о пожаре в школах, а также назначение лиц имеющих право на её включение регламентированы п.п.16,17,102 ППБ 01-03 [61].

4. 4 Охрана окружающей среды

Вследствие развития научно-технического прогресса постоянно увеличивается возможность воздействия на окружающую среду, создаются предпосылки для возникновения экологических кризисов. В то же время прогресс расширяет возможности устранения создаваемых человеком ухудшений природной среды.

Для максимальной защиты окружающей среды требуется, полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам

Одна из самых серьезных проблем - потребление электроэнергии. С увеличением количества компьютерных систем, внедряемых в производственную сферу, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как:

- 1) изменение климата - накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект);
- 2) загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами;
- 3) загрязнение водного бассейна Земли;
- 4) опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов;
- 5) изменение ландшафта Земли.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

Организация влияет на окружающую среду как потребитель электроэнергии, поскольку здесь работает большое количество электронно-вычислительной техники и осветительных приборов. Проблема эффективного использования решается за счет использования более экономичных компьютеров, а также более эффективного их использования.

4.5 Чрезвычайные ситуации

Среди возможных ЧС наиболее вероятным является возникновение пожара.

Порядок тушения пожара в электроустановках:

- Руководителем тушения пожара в электроустановках до прибытия пожарных является начальник смены. По прибытии пожарного подразделения, старший принимает на себя руководство тушением пожара.
- Загорания в электроустановках под напряжением ликвидируются персоналом энергетического объекта с помощью ручных и передвижных огнетушителей.
- Отключение присоединений, на которых горит оборудование, может производиться дежурным персоналом энергетического объекта без предварительного получения разрешения вышестоящего лица, осуществляющего оперативное руководство, но с последующим его уведомлением.

При тушении электроустановок, находящихся под напряжением персонал, состав пожарной охраны обязан выполнять следующие требования:

- а) работать со средствами пожаротушения в диэлектрических перчатках и ботах (сапогах), а при заземлении – СИЗ органов дыхания;
- б) находиться на безопасном расстоянии от электроустановок;
- в) заземлить пожарный ствол и насос пожарного автомобиля.

Таблица 16 – типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя
До 0,4	хладановый
До 1,0	порошковый
До 10	углекислотный

Тушение пожаров в электроустановках, находящихся под любым напряжением, всеми видами пен и с помощью ручных средств запрещается, так как пена и раствор пенообразователя в воде обладают повышенной электропроводимостью.

Заключение по разделу

В разделе социальная ответственность были проанализированы и выявлены вредные факторы производственной среды, произведен расчет освещенности рабочего места, а так же выбран вариант освещения помещения. Изучен перечень возможных чрезвычайных ситуации, а так же разработаны действия в результате возникновения ЧС и меры по ликвидации её последствий.

Список использованных источников

1. Аррилага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах: Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 320 с.
2. Бацева Н.Л. Специальные вопросы проектирования электроэнергетических систем и сетей: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.–254 с.
3. Базуткин В.В., Дмоховская Л.Ф. Расчеты переходных процессов и перенапряжений. М.: Энергоатомиздат, 1983.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1996. – 638 с.
5. Боровиков В.С., Волков М.В., Иванов В.В., Литвак В.В., Мельников В.А., Погонин А.В., Харлов Н.Н., Акимжанов Т.Б. Режимные свойства электрических сетей 110 кВ юга России в обеспечении эффективности транспорта электроэнергии. Томск, STT, 2013. – 268 с.
6. Боровиков В. С., Харлов Н. Н., Акимжанов Т. Б. О необходимости включения добавочных потерь от высших гармоник тока в технологические потери при передаче электрической энергии//Известия Томского политехнического университета.- 2013.-Т. 322; № 4-С.91-93.
7. Воротницкий В.Э., Заслонов С.В., Калинкина М.А. Программа расчета технических потерь мощности и электроэнергии в распределительных сетях 6 - 10 кВ. - Электрические станции, 1999, №8, с.38-42.
8. Воротницкий В.Э., Железко Ю.С., Казанцев В.Н. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. – М.: Энергоатомиздат, 1983.-368 с.
9. ГОСТ Р 54149-2010 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».– Введ. 01.01.2013. М.: Стандартинформ, 2012.-16 с.

10. Добрусин Л.А. Приоритеты управления качеством электроэнергии в электрических сетях России: взгляд с позиции национальных интересов и стратегии международного электроэнергетического сотрудничества // Вести в электроэнергетике.-2007.-№2.

11. Донской Ю.А, Пекин С.С. ЭЦН с частотно-регулируемым приводом//Территория нефтегаз. Издательство: Закрытое акционерное общество "Камелот Пабблишинг" (Москва) №3, 2010, с. 68-69

12. Жежеленко И.В. Электрические потери от высших гармоник в системах электроснабжения//Электрика.-2010.-№4.С.3-6.

13. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.

14. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Бирюков Р.П. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.-280 с.

15. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.-176 с.

16. Красник В.В. 102 способа хищения электроэнергии. – М.: ЭНАС, 2008.-160 с.

17. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. Учебник для вузов. Изд. 4-е, переработанное. – М., Энергия, 1975.-752 с.

18. Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений: РД 34.09.254. – Введ. 01.01.88. – 44 с.

19. Каганов З.Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 248 с.

20. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М., 1974 г. – 832 с.

21. Коршунова Л.А., Кузьмина Н.Г., Кузьмина Е.В. Формирование тарифов на передачу и распределение электрической энергии в России // Вестник Томского государственного университета. Экономика.-2011.-№4 (16). С.124-123.
22. Кузьмин Д.А., Горячев В.Я. Исследование качества электрической энергии при наличии потребителей с нелинейными нагрузками//Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 1 (17). – С. 148–155.
23. Кучумов Л.А., Спиридонова Л.В. Потери мощности в электрических сетях и их взаимосвязь с качеством электроэнергии. Учебное пособие. – Л.: изд. ЛПИ, 1985, 92 с.
24. Либкинд М.С. Высшие гармоники, генерируемые трансформаторами / М. : Изд-во Академии наук СССР, 1962. — 104 с.
25. Люtareвич А.Г., Вырва А.А., Долингер С.Ю., Осипов Д.С., Четверик И.Н. Оценка дополнительных потерь мощности от высших гармоник в элементах систем электроснабжения//Омский научный вестник.-2009.-№ 1-С.109-113.
26. Мельников Н.А., Рокотян С.С., Шеренцис А.Н. Проектирование электрической части воздушных линий электропередачи 330-500 кВ/Под ред. С.С. Рокотяна. – М.: Энергия, 1974.-472 с.
27. Методические указания по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую и тепловую энергию на розничном (потребительском) рынке. Экономика и финансы электроэнергетики. – 2002.- №11. С 105-143.
28. Нейман Л.Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах. Л. –М., 1949-190с.
29. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники Т.1 и 2. Л.: Энергия, 1966.-522 с.
30. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ: Стандарт организации СТО 56947007-29.240.10.028-2009. – Введ. 13.04.09. – М. ОАО ФСК-ЕЭС, 2009г.

31. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. N 326 "Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям" (с изменениями от 01.02.2010г.).

32. Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения/ Г.Н. Александров, В.В. Ершевич, С.В. Крылов и др.; Под ред. Г.Н. Александрова и Л.Л. Петерсона. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд.ние, 1983.–368 с.

33. Справочник по проектированию электрических сетей/под ред. Д.Л. Файбисовича. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2009.–392 с.

34. Семичевский П.И.. Методика расчета дополнительных потерь активной мощности и электроэнергии в элементах систем электроснабжения промышленных предприятий, обусловленные высшими гармониками: дис. канд.техн.наук. – М., 1978. – 206 с.

35. Технический отчет «Комплексное энергетическое обследование системы водоснабжения и водоотведения ОАО «Омскводоканал»», Т.2 «Энергетическое обследование насосных станций 3, 4 подъема», НИ ТПУ, Томск – 2011 г, 215 с.

36. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.-448 с.

37. Харлов Н.Н., Акимжанов Т.Б.. Инструментальная оценка эффективности работы фильтрокомпенсирующих устройств в системах электроснабжения.

38. Харлов Н.Н., Боровиков В.С., Литвак В.В., Погонин А.В., Мельников В.А. Энергетическое обследование несинусоидальных режимов многопроводных линий электропередачи // Электричество.-2011.-№ 12.- С.12-15.

39. Чижма С.Н.. Совершенствование методов и средств контроля качества электроэнергии и составляющих мощности в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой: дис....д.техн.наук. – Омск., 2014. – 329 с.

40. Чугунов Г.А., Агапов М.Н., Тищенко А.И. Мониторинг показателей качества электроэнергии // Ползуновский вестник.-2010.-№2.-С.98-102.

41. Шамонов Р.Г. Разработка методики оценки влияния качества электроэнергии на потери мощности и энергии в электрических сетях: дис. ...канд.техн.наук. – М., 2003. – 155 с.
42. Шидловский А.К., Борисов Б.П. Симметрирование однофазных и двухплечевых нагрузок электротехнологических установок. – Киев: Наук. думка, 1977.–160 с.
43. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. – Киев: Наук.думка, 1985.-268 с
44. Шляхтин С.А. Сокращение потерь в электродвигатели при частотном регулировании за счет корректировки закона регулирования преобразователя//Сервис в России и за рубежом. Издательство: Российский государственный университет туризма и сервиса (Черкизово). №2, 2009, с. 139-142.
45. Каталог продукции. Кабели на напряжение 110-220 кВ, ГК Севкабель // [Официальный сайт ГК «Севкабель»]. URL: http://www.sevcable.ru/sites/default/files/pdf-catalog/katalog_110kv_2014.pdf
46. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности / Белов С.В., Ильницкая А.В., Козьяков А.Ф.. – М.: Высшая школа, 2007. – 616 с.
47. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 12 с.
48. Люминесцентные лампы стандартной цветопередачи T8 G13, диаметр 26 мм. – Электронный ресурс: <http://svetgrupp.ru/catalog/30/11957>.
49. WRS/S. Светильники с белой экранирующей решеткой. – Электронный ресурс: <http://www.ltcompany.com/model.php?id=138>.
50. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение". Утв. постановлением Минстроя РФ от 2 августа 1995 г. N 18-78.

51. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Минздрав России, Москва. – 2003.

52. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Минздрав России, Москва. – 1996.

53. Новиков С.Г., Маслова Т.Н., Копылова Л.Н. Безопасность жизнедеятельности. Учебно-методический комплекс. Электронный учебник. <http://ftemk.mpei.ac.ru/bgd/>.

54. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Минздрав России, Москва. – 1997.

55. ГОСТ12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. Издательство стандартов, Москва. – 1984.

56. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов, Москва. – 1984.

57. ГОСТ 12.1.045-84. Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов, Москва. – 1984.

58. СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях". Минздрав России, Москва. – 2003.

59. Правила устройства электроустановок. Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204.

60. Федеральный закон от 21.12.1994 N 69-ФЗ (ред. от 12.03.2014) "О пожарной безопасности".

61. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

62. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
Государственная противопожарная служба, Москва. – 2003.

Приложение А

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ4В	Бессараб Екатерина Александровна		

Консультант кафедры

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ушаков В.Я.	к.т.н., профессор		

Консультант – лингвист кафедры

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Низкодубов Г.А.	к.п.н., доцент		

1.1. Structure of electric power losses

About a half of electric power cost for consumers is formed at the stage of its production. The second half is connected with its transfer and distribution and it consists of the following components:

- 22% - transportation on networks of low voltage (The interregional network companies),
- 10% - transportation on local municipal networks (The territorial network companies),
- 7% - transportation on the the Unified National Power Grid,
- 6% - a sales extra charge (services in formation of accounts and a whip-round from the population),
- 5% - services of the System operator.

In the first three components the significant contribution is made by energy losses consisting of:

- 1) power consumption caused by physical laws through transferring network and in the substations equipment (reasonable expenses);
- 2) valid losses caused by unreasonable expenses of electric power connected with wear of electric equipment, imperfection of organizational technological decisions and actions;
- 3) commercial losses caused mainly by misappropriation of electric power.

Sources of information on overall activity of the enterprises of electric networks and about the potential of energy saving which is available for them are: operational and reporting documentation on electric power accounting, production schedules and voltage levels, documentation on the capital (technological) and service equipment, results of tool power observation. The information is generalized in energy passports.

1.2. Technological losses

Technological losses in electric networks are characterized by the following figures. In networks of 220 kV and below about 78% of general losses are lost; from them: in networks 110-220kV – 28%; in networks of 35 kV – 16% and in networks of 10-0,4 kV – 34%. The figures are rather reliable since all network enterprises annually undergo procedure of examination of technological losses by transfer of electric power.

Technological losses include three components:

1. Technical losses.

2. Power consumption for own needs of substations. Its most part is not losses, but reasonable electricity consumption for provision of normal work of substations technological equipment and service personnel. To losses would be necessary referred just its useless lost part.

3. Errors of measurements.

1.3. Technical losses

This component of losses, in its turn, is subdivided into:

1. Relatively constant – 24,7% of general losses which do not depend on loading (From them 67% – no-load loss of transformers, 11% – own needs of substations, 22% – other losses);

2. Load losses - 75,3% of general losses depending on quantity of power transferred through the network. (From them 86% – losses in the high voltage line and 14% – in transformers).

Relatively constant losses are caused by inevitable expenditure of energy on electromagnetic processes in the electrotechnical equipment. They don't depend on the volume of the transported energy (from loading), but depend on technical parameters

and physical and chemical properties of the materials used in the equipment and the state of environment and include losses:

- no-load loss of transformers and active losses in insulators, cable lines, tires, current distributors, etc. depending, first of all, on the properties applied in them materials.
- on a crown of the high voltage line and leakage currents on the surface of insulators depending, considerably, on the state of environment.
- in measuring current and tension transformers, in electric power metering devices.

Load losses depend on the volume of the transported active and reactive energy. A powerful component of load losses is the losses connected with transfer of reactive power. Its circulation in networks leads to their overload and reduces useful capacity. (In urban distributive networks its portion can exceed 50% of total power). Reactive power is consumed by single-phase and three-phase alternating current motors (45-60%), transformers of all stages of transformation (20-25%), electric drive with semiconductor converters, powerful gas-discharge lamps.

The main sources of reactive power are generators of power plants (their power is not enough for providing balance of reactive power), special devices on substations of power supply systems: synchronous compensators, batteries of static compensators, operated reactive power sources. Only heavy users, mainly industrial enterprises can compensate reactive power.

The order of the Ministry of Industry and Energy of the Russian Federation No. 49 of 22.02.2007 has renovated responsibility of the consumer for the consumed reactive power. At reactive power compensation it is necessary to take into account technological features, the production schedule of the consumer and to use the systems of automatic control of reactive power compensation founded on new methods and

technical means. The sources of basic data for calculation of technical losses are the following:

- information on topology of electric power station and parameters of an equivalent circuit.
- results of volumes measurement of electric power in the branches and electric power station hubs.
- data on duration of the disconnected condition of all most important elements of electric power station.

Methods of calculation of technical losses of electric power are approved by the corresponding directive and methodical documents of the Ministry of Energy of the Russian Federation. Calculation of losses of electric power at electric power stations is complicated by such factors as:

- Big scheme and modal diversity of electric power stations.
- High degree of uncertainty or lack of necessary information for calculations, owing to topological changes made in electric power stations on long intervals of time.
- An irregularity of control measurements at electric power stations.
- Non-simultaneity of meter readings of electric power and high error of metering devices.
- Big variety of electric power metering devices with various class of accuracy.
- Absence of records in existing software in the modes of small loadings of a number of "insignificant" losses of energy (active resistance of lines is rated on the average annual temperature of the district, reactive power overflows aren't taken into consideration in low voltage networks, the highest harmonic components and asymmetry aren't considered as well, etc.).

- Commercial losses of electric power.

Technical losses in electric networks of power supplying organizations are calculated according to three ranges of tension:

- in power lines of high voltage - 35 kV and more;
- in distributive networks of average voltage from 6 - 10 kV;
- in distributive networks of low voltage - 0,38 kV.

The distributive networks of 0,38-6-10 kV operated by the regional electric networks and the enterprises of electric networks are characterized by a considerable share of losses of electric power in total losses along the whole chain of transfer of electric power from sources to collectors. It is caused by features of construction and operation organization of this type of networks: large number of elements, branching of schemes, insufficient supply with metering devices, rather small loading of elements, etc.

Nowadays technical losses in networks of 0,38-6-10 kV are calculated monthly and are summarized for a year on each regional electric networks and enterprises of electric networks of power supply systems. The obtained data are used for calculation of the planned standard of electric power losses for the next year. Technological losses of electric power are normalized (in absolute units or as a percentage of the established indicator). Standards are calculated at operating modes, technical parameters of lines, networks equipment and the system of electricity accounting in the considered period according to the document "The organization instruction in the Ministry of Energy of the Russian Federation of work on calculation and substantiation of standards of technological electric power losses by its transfer through electric networks" (With changes of 01.02.2010).

Standard method of calculation of load losses of electric power is a method using all volume of available information about schemes and loadings of networks of

the given tension when calculating losses. At increase of being equipped with measuring tools and operating control of modes the application of more accurate methods from the list established by a procedure is recommended. The standard characteristic of technological losses of electric power is dependence of the standard of technological losses of electric power from structural components of arrival and distribution of electric power.

The instruction for calculation of losses in electric networks is developed for the ideal modes of networks. Unfortunately, the real modes of electric networks are far from a perfect condition: asymmetry of the modes and parameters of elements, distortion of a sinusoidal causing additional loss are observed. The attractive side of traditional calculations of losses is their simplicity, but to the detriment of accuracy. With development of electronic computer and information and measuring devices it has become possible to develop more accurate methods of calculation and assessment of level of losses.

1.4. Commercial losses

This type of losses is caused not by physical properties of the electric power stations elements, but it is the result, first of all of misappropriation of electric power by customers. Also the reasons of commercial losses are not simultaneity of metering devices readings, not timely fee on electric power transfer. This type of losses isn't included in the standard of technological losses, and respectively, is a source of direct losses of power supply companies. It is considered that commercial losses are the result of social and organizational factors:

1. Misappropriation of electric power by consumers;

2. Shortcomings of the control organization of its consumption and payment.

Today more than 40 ways of misappropriation of electric power are known. As a rule, misappropriation takes place in poor regions. The cases of participation of employees of power supply companies in fraud on misappropriation of electric power were

revealed. The quality of the organization of its account can significantly influence the level of commercial losses. At head sites of radial networks (in which there is a commercial underestimation) of all classes of tension it is necessary to install counters of the technical accounting of electric power. It allows to make balance between the electric power which is released into this network and paid by consumers on the basis of which it becomes possible to allocate network sites with the increased level of commercial losses.

As is known, in the Ministry of Energy of the USSR reporting losses were at the level of 9% of released electric power into a network. From them 2,25% - constants losses, 6,75% load. As there weren't social conditions for mass misappropriation of electric power by household consumers, and the state (which made energy) owned the industry, the share of commercial losses in networks of the Ministry of Energy of the USSR was very small.

Now, in the conditions of market economy it is possibly to claim that the level of commercial losses has increased and influences the income of power supply companies. It will be an essential component of reporting losses to which all the losses which aren't proved by calculation refer, including additional losses from asymmetry and currents nonsinusoidality.