

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Профиль Оптимизация развивающихся систем электроснабжения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Оптимизация режимов работы городской электрической сети 0,38 кВ</b>

УДК 621.311.1.004-048.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Е	Федорович Сергей Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шутов Е. А.	к. т. н., доцент		

**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	Амелькович Ю. А.	к. т. н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель Отделения/НОЦ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ООП	Обухов С.Г.	д. т. н., доцент		

## Запланированные результаты обучения

Код ре-зультата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать</i> на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные</i> работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Профиль Оптимизация развивающихся систем электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель отделения ООП

\_\_\_\_\_ Обухов С.Г.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**магистерской диссертации**

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Е	Федоровичу Сергею Николаевичу

Тема работы:

**Оптимизация режимов работы городских электрических сетей 0,38 кВ**

Утверждена приказом директора (дата, номер)	19.02.2018 г. № 1130/с
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
<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>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Схема электроснабжения исследуемого района</li><li>2. Тип и паспортные данные кабельных линий и трансформаторов</li><li>3. Данные о нагрузке трансформаторных подстанций</li></ol>

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(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).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ решаемой задачи на основе обзора опубликованных результатов исследований и ее актуальность.</li> <li>2. Анализ исходных данных и построение математической модели необходимой для исследования.</li> <li>3. Разработка программы исследований.</li> <li>4. Выполнение исследований согласно разработанной программе.</li> <li>5. Анализ результатов исследований и обоснование на их основе рекомендации по оптимизации исследуемого участка электрической сети.</li> </ol>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схема системы электроснабжения исследуемого участка сети</li> <li>2. Структурная схема устройства автоматического переключения однофазных нагрузок</li> </ol>
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко А.А
Социальная ответственность	Амелькович Ю.А.
Раздел на иностранном языке	Матухин Д.Л.

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

Экономические и технологические условия функционирования электрических сетей
Критериальные оценки эффективности работы городской электрической сети
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
Социальная ответственность
Заключение
Optimization of distribution network. Optimal operating mode

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шутов Е.А.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Е	Федорович С.Н.		

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетика и электротехника

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования магистратура

Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

21.05.2018

Дата контроля	Название раздела/ вид работы	Максимальный балл раздела, %
01.03.2018	1. Описание предметной области и задач исследования	8
18.03.2018	2. Анализ существующих способов оптимизации распределительной сети	12
29.04.2018	3. Моделирование режимов работы распределительной сети в программном комплексе	25
18.04.2018	4. Моделирование мероприятий по оптимизации для распределительной сети	25
30.04.2018	5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
10.05.2018	6. Социальная ответственность	10
15.05.2018	7. Раздел, выполняемый на иностранном языке	10
21.05.2018	Выполненная магистерская диссертация	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шутов Е.А.	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ООП	Обухов С.Г.	д.т.н., доцент		

## Обозначения и сокращения

- АД – асинхронный двигатель;
- БЭ – бригада электромонтёров;
- ГА – генетические алгоритмы;
- ГОСТ – государственный стандарт;
- ИСР – инженер службы режимов;
- КБ – конденсаторная батарея;
- КЗ – короткое замыкание;
- КЛ – кабельная линия;
- КПД – коэффициент полезного действия;
- КУ – конденсаторная установка;
- ЛЭП – линия электропередачи;
- ПБВ – переключение без возбуждения;
- ПО – программное обеспечение;
- ПС – подстанция;
- ПТЭЭП – правила технической эксплуатации электроустановок потребителей;
- ПУЭ – правила устройства электроустановок;
- РЗА – релейная защита и автоматика;
- РМ – реактивная мощность;
- РП – распределительный пункт, («руководитель проекта» в разделе 3);
- РПН – регулирование под нагрузкой;
- РФ – Российская Федерация;
- СГ – синхронный генератор;
- СД – синхронный двигатель;
- СК – синхронный компенсатор;
- СТАТКОМ – статический компенсатор;

СТК – статический тиристорный компенсатор;  
СУ – симметрирующее устройство;  
СХН – статические характеристики нагрузки;  
СЭС – система электроснабжения;  
ТКЗ – токи короткого замыкания;  
ТП – трансформаторная подстанция;  
ТР – трансформатор;  
УКРМ – устройства компенсации реактивной мощности;  
УШР – управляемый шунтирующий реактор;  
ХХ – холостой ход;  
ШР – шунтирующий реактор;  
ЭО – электрооборудование;  
ЭП – электроприемник;  
ЭЭ – электроэнергия;  
ЭЭС – электроэнергетическая система;

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа содержит 155 с., 24 рис., 28 табл., 41 источников, 7 прил.

*Ключевые слова:* оптимизация электрической сети, низкая загрузка ЭО, городская распределительная сеть, качество электроэнергии, организационные мероприятия, отключение части оборудования, определение оптимальных мест размыканий сети.

*Объектом исследования* является участок городской электрической распределительной сети 10/0,4 кВ г. Томска.

*Цель работы* – оценка эффективности научно-технических решений по оптимизации режимов работы участка городской системы электроснабжения на основе современных программно-аппаратных средств.

В процессе исследования использовались методы математического и компьютерного моделирования, методы оптимизации – градиентного спуска. Метод узловых потенциалов метод решения нелинейных уравнений – метод Ньютона-Рафсоназа.

В результате исследования было предложены способы снижения потерь мощности и ЭЭ.

*Область применения:* городские и сельские распределительные сети 10/0,4 кВ.

*Экономическая эффективность:* предлагаемые меры позволят уменьшить потери ЭЭ на 417852 кВтч в год (в денежном эквиваленте на 1007023,23 рубля в год).

## Оглавление

Введение.....	14
1 Экономические и технологические условия функционирования электрических сетей.....	17
1.1 Режимы работы электрических сетей.....	22
1.2 Потери мощности и электроэнергии и мероприятия по их снижению.....	23
1.3 Снижение потерь электроэнергии.....	25
1.4 Несимметрия токов и напряжений.....	28
1.5 Способы задания нагрузки. СХН.....	30
1.6 Техническое описание схемы. Постановка задач.....	31
2 Критеральные оценки эффективности работы городской электрической сети.....	36
2.1 Расчет режима максимальных нагрузок.....	36
2.2 Расчет режима минимальных нагрузок.....	38
2.2 Моделирование суток зимнего максимума.....	40
2.3. Оптимизация режимов работы участка сети.....	51
2.4 Определение стоимости потерь электроэнергии.....	62
Выводы по разделу:.....	64
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	65
3.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования.....	65
3.2 Технический план проекта.....	66
3.3 Бюджет научного исследования (Смета).....	70
3.4 Сравнительная эффективность.....	74
Заключение по разделу:.....	77
4 Социальная ответственность.....	78
4.1 Анализ выявленных вредных факторов производственной среды.....	79
4.2 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды.....	86
4.3 Экологическая безопасность.....	90

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	90
Заключение.....	94
Список используемых источников.....	96
Приложение А.....	101
Приложение Б.....	104
Приложение В.....	121
Приложение Г.....	131
Приложение Д.....	135
Приложение Е.....	137
Приложение Ж.....	139

## Введение

Задачей распределительных сетей является бесперебойное обеспечение потребителей электрической энергией нормированного качества. Основными показателями качества электроэнергии являются: напряжение, частота, коэффициент мощности [1]. В нормальном установившемся режиме работы эти показатели должны удовлетворять требованиям ГОСТа, ПУЭ и ПТЭЭП, также должно выполняться равенство произведенной и потребленной энергии. Однако зачастую, показатели качества электроэнергии и потери мощности отличаются от нормативных значений, что может привести к недоотпуску электроэнергии, а также возникновению аварийных ситуаций [2].

Для определения параметров сети, а также обнаружения возможных «слабых» мест в сети необходимо произвести расчет установившегося режима. Анализируя результаты расчета режимов можно определить список возможных мероприятий по увеличению надежности и снижению потерь мощности и электроэнергии.

Распределительные сети Томска проектировались и строились с перспективой роста нагрузки предприятий, однако в связи с высоким уровнем стоимости аренды земли в городе, произошло перемещение промышленной зоны в пригород, либо на окраины города. В свою очередь это привело к уменьшению потребления электроэнергии (по величине мощности) и снижению загрузки оборудования распределительных сетей и подстанций города. Кроме того, из-за преобладания однофазной нагрузки, наблюдается несимметрия токов и напряжений в узлах сети.

Проблемы оптимальной загрузки оборудования, снижения потерь мощности и уровня несимметрии в городских электрических сетях рассматривались в работах А.В. Деда [3], В.Э. Воротницкого [4,9], Ю.С. Железко [5], М.И. Фурсанова [6], Д.Е. Делепова и Т.Е. Тюндина [7], Н.В. Савина и Ю.В. Мясоедова [8], О.Б. Кисель, А.И. Вольдек, В.Я. Майер, М.Е. Baran и F.F. Wu [9], A. Mohamed Imran и M. Kowsalya [10], E. S. Ibrahim [11], Dong-Li Duan [12], Ralph E.

[13], Osmo Siirto [14], Wei Wei, Jianhui Wang [15], Abdelaziz M. [16], Dezani H. [17], Guerrero M., Francisco G. Montoya [18] и др. Описанные в данных работах подходы и другие подобные мероприятия помогут усовершенствовать режимы работы сети, улучшить пропускную способность линий и значения показателей качества электрической энергии, снизить потери мощности и, возможно, привести к увеличению надежности энергоснабжения.

*Объект исследования* – участок городской электрической распределительной сети 0,4-10 кВ г. Томска.

*Цель работы* – оценка эффективности научно-технических решений по оптимизации режимов работы участка городской системы электроснабжения на основе современных программно-аппаратных средств.

Для достижения поставленной цели будут решаться следующие задачи:

1. Исследование рациональной загрузки электрического оборудования и отключение его части (отключение одного из двух параллельно работающих трансформаторов).
2. Оптимизация мест размыкания линии 10 кВ с двусторонним питанием.

*Научная новизна работы:*

Оценка значимости решения оптимизационных сетевых задач при изменении условий эксплуатации (конфигурации) городской распределительной электрической сети.

*Практическая ценность.* Предложенные мероприятия позволят:

- Снизить технические потери в городских распределительных электрических сетях, возникающие при передаче ЭЭ;
- Повысить качество электроснабжения коммунально-бытовых потребителей.

*Методы научных исследований.* Для решения поставленных задач использовались методы: математического и компьютерного моделирования, методы оптимизации, метод узловых потенциалов, генетические алгоритмы.

*Апробация работы и публикации.* Основные положения магистерской диссертации докладывалось на Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения».

## 1 Экономические и технологические условия функционирования электрических сетей

Потери электроэнергии являются одним из важнейших показателей отражающих техническое состояние и экономическую эффективность энергосбытовой деятельности. С точки зрения физики транспорта электроэнергии по сетям, уровень потерь в 10% считают максимально допустимым, превышение этого значения, как правило, является следствием коммерческой составляющей потерь [11]. В международной практике принято считать, что удовлетворительный уровень потерь электроэнергии при ее распределении и передаче не превышает 4-5% [12]. Однако в РФ встречается уровень потерь в 22% и это обусловлено не физическими причинами, а экономическими. Так производители электроэнергии – генерирующие компании (ОГК, ТГК, РусГидро) производят электроэнергию и продают ее сетевым компаниям (ФСК, МРСК), которые занимаются транспортом ЭЭ и ее распределением, в свою очередь у сетевых компаний ЭЭ покупают сбытовые компании и доставляют ее потребителям.



Рисунок 1 – Технологическая структура электросетевой деятельности

Таким образом, в итоговой стоимости ЭЭ учтены:

1. цена производства ЭЭ (все затраты на производство + амортизация в оборудование и прибыль);
2. стоимость мощности;
3. цена передачи по сети (затраты связанные с приобретением и транспортом ЭЭ у генерирующих компаний, потери, а также амортизация и прибыль);
4. инфраструктурные платежи;
5. сбытовая надбавка (затраты связанные с приобретением и транспортом ЭЭ у сетевых компаний, потери, а также амортизация и прибыль) [13].

Как видно из рисунка 2, большая часть стоимости тарифа приходится на оплату деятельности сетевых компаний. Не смотря на то, что все эти значения регламентированы, уровень потерь ЭЭ при ее транспорте и распределении является и обосновывается владельцами – сетевыми компаниями. Таким образом, явно прослеживается экономическая выгода сетевых компаний от завышения реального уровня потерь, так например, при заявленных 11% и реальных 6%, оставшиеся 5% – прибыль компаний.

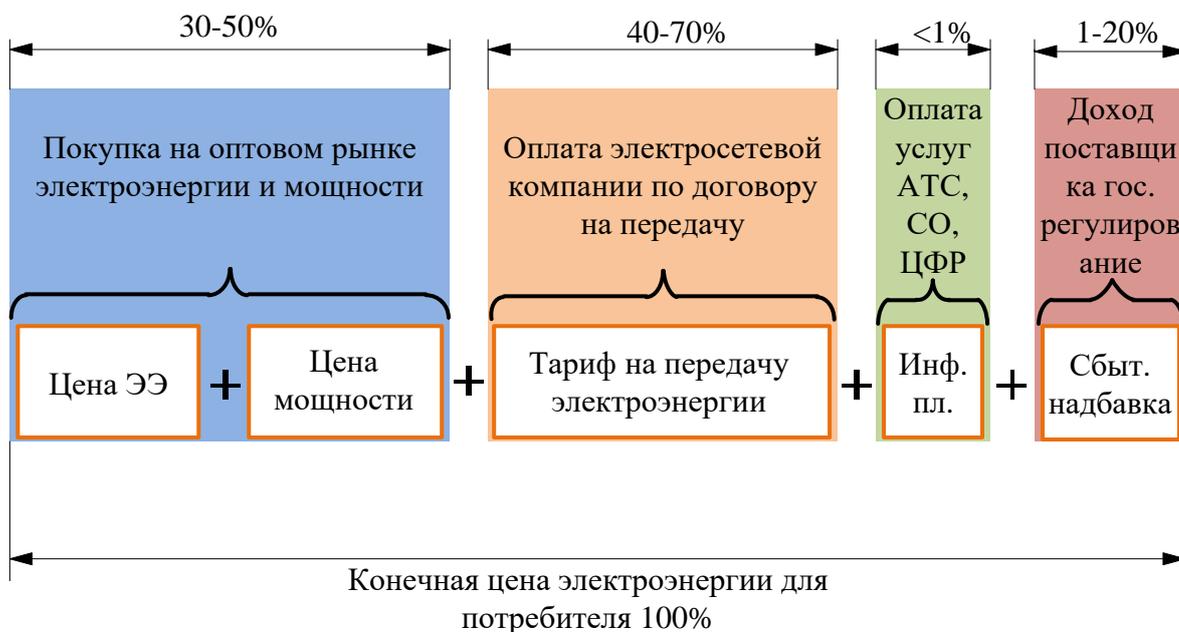


Рисунок 2 – Состав цены на ЭЭ для потребителей

Потери при сбыте ЭЭ, помимо физической, обусловлены в большей части коммерческой составляющей, отсюда следует, что существуют проблемы учета ЭЭ [14].

Основными проблемами распределительных сетей являются:

- значительный моральный и физический износ оборудования;
- несоответствие условий эксплуатации оборудования нормативным требованиям в том числе:

1. несимметричные и несинусоидальные режимы работы;
2. низкий КПД вследствие недо/перегрузки оборудования и др.

- необходимость в УКРМ и т.п.

Как показывают исследования установка нового, более технологичного оборудования (как для передачи и распределения, так и для учета ЭЭ) изменит параметры режима, что снизит реальный уровень потерь, однако вопрос окупаемости этих мероприятий остается открытым. Помимо технических мероприятий по снижению потерь широко рассматриваются и организационные, требующие меньших затрат.

Так, в качестве мероприятий по снижению потерь мощности, вызванные несимметрией, например в [3] предлагается:

- перераспределение однофазных нагрузок;
- выделение потребителей с несимметричной нагрузкой на отдельные трансформаторы (в случаях, когда невозможно перераспределение нагрузок);
- применение симметрирующих устройств.

Аналогичные мероприятия были представлены в статье Д.Е. Делепова и Т.Е. Тюндина «Расчет несимметрии напряжений СЭС» [14], а именно:

- периодический контроль состояния несимметрии, замена неполнофазных ответвлений на полнофазные (и как результат перераспределение и оптимальная загрузка каждой фазы);
- снижение сопротивления нулевой последовательности элементов электрической сети;

- замена трансформаторов «звезда с нулем» на «зигзаг с нулем»;
- применение замкнутых и полужамкнутых схем сети;
- поперечная компенсация реактивной мощности.

В [6] было проведено исследование разветвленной электрической сети 0,38-10 кВ и определены условия обеспечения оптимальной загрузки сети (по критерию минимальных потерь) [15]. Согласно исследованию было выяснено, что оптимальная загрузка трансформаторов определяется их техническими характеристиками, и равна, приблизительно, 40%.

Поиск оптимальных точек размыкания в сложнзамкнутых городских распределительных сетях с целью снижения суммарных потерь электроэнергии было рассмотрено в [19]. На основании анализа литературы было выяснено, что данная задача традиционно решалась на основе классической модели установившегося режима и в качестве целевой функции использовались потери мощности, а не энергии. Задача поиска оптимальных точек размыкания производится на основе использования расчетной процедуры задачи энергораспределения.

Для обеспечения надежности городские сети электроснабжения выполняются замкнутыми, однако по экономическим соображениям контуры электрической сети содержат в себе некоторую точку размыкания. Наличие точки размыкания необходимо для избегания протекания в контуре уравнительных токов, создающих дополнительные потери и ухудшающих технико-экономические показатели функционирования сети [20]. Более того, отключение элементов распределительной сети может привести к перераспределению потоков мощности и к аварийной перегрузке сети. Для городской распределительной сети выбор оптимальных точек размыкания является весьма сложной задачей переборного типа, т.к. число возможных вариантов может составлять десятки тысяч. Кроме того, актуальность поиска оптимальных точек размыкания сети включает в себя и тот факт, что распределительные сети проектировались и строились более 30 лет назад. За этот период времени, величина электрических нагрузок значительно изменилась, а следовательно, изменилось и положение оптимальных точек размыкания.

Решение задач оптимизации мест размыкания (и других видов) длительный период осуществляется с помощью программных комплексов на генетических алгоритмах [19]. Генетический алгоритм – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем случайного подбора параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Генетический алгоритм представляет собой комбинированный подход. На рисунке 3 показана эффективность генетического алгоритма поиска по сравнению с обычными алгоритмами.

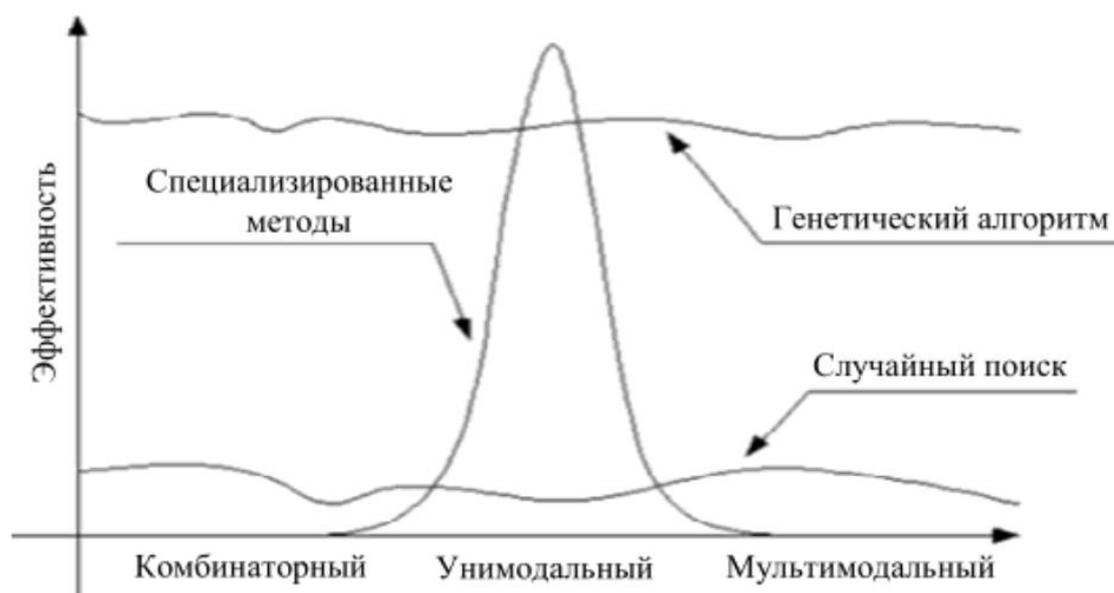


Рисунок 3 – Сравнение генетического алгоритма со стандартными алгоритмами

Оптимизация работы электрической сети, по критерию минимальных потерь, является задачей поиска глобального минимума. В современных программных комплексах решение данной задачи осуществляется на основе генетических алгоритмов. Основными достоинствами генетического алгоритма является:

- простота в реализации;
- пригодность применения для решения широкого класса задач (в том числе крупномасштабным проблемам оптимизации);
- возможность использования в задачах с изменяющейся средой;
- максимальная точность за минимальное время.

## 1.1 Режимы работы электрических сетей

Режимом работы электрических сетей называют состояние системы, которое характеризуется показателями, количественно определяющими ее работу. К режимным параметрам относятся: значения мощности, напряжения, тока, частота и т.д.

Режимы работы электрических сетей разделяются на установившиеся и переходные, связанные с исследованиями динамической устойчивости [16]. В свою очередь установившиеся режимы делятся на:

1. нормальные;
2. послеаварийные;
3. вынужденные [17, 33].

Так как в зависимости от сезона, график нагрузки меняется, режимы работы сети делят на режимы максимальных нагрузок (зимний максимум) и минимальных нагрузок (летний минимум).

Расчёты режимов электрической сети выполняются для определения:

- загрузки элементов сети, соответствия пропускной способности сети ожидаемым потокам мощности;
- сечений проводов и кабелей мощностей трансформаторов и автотрансформаторов;
- уровня напряжения в узлах электрической сети и мероприятий, обеспечивающих поддержание напряжения в допустимых пределах;
- потерь мощности и электрической энергии; - пропускной способности электрической сети;
- интегральных показателей условий работы сети в целом за длительный период – передаваемой энергии, средних значений отдельных параметров режима или диапазона изменений значения каких-либо параметров для расчётных элементов сети [18].

## 1.2 Потери мощности и электроэнергии и мероприятия по их снижению

Потери мощности и электроэнергии в электрических сетях включают в себя потери мощности и энергии в линиях и трансформаторах:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ТР}} + \Delta P_{\text{ВЛ}}, \text{ кВт}; \quad (1)$$

$$\Delta W = \Delta W_{\text{ТР}} + \Delta W_{\text{ВЛ}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (2)$$

Потери мощности в трансформаторе состоят из потерь ХХ и нагрузочных потерь. Потери ХХ (постоянные) – это потери в стали трансформатора на намагничивание и вихревые токи, нагрузочные потери (переменные) – потери в обмотках трансформатора зависящие от нагрузки.

$$\Delta P_{\text{ТР}} = \Delta P_{\text{ХХ}} + \Delta P_{\text{нагр}}, \text{ кВт}. \quad (3)$$

Потерями электроэнергии называется произведение потерь мощности на время. Обычно, определяют годовые потери энергии. Однако вследствие постоянного изменения нагрузки потери мощности в каждый момент времени также изменяются, следовательно, изменяются и потери энергии.

Существует много методов расчета потерь электроэнергии, однако наибольшее распространение получил метод времени наибольших потерь и метод среднеквадратичного тока.

Наиболее распространенной в практике эксплуатации методикой расчета потерь мощности и электроэнергии, рекомендуемой отраслевой Инструкцией [21], является методика расчета по потере напряжения до наиболее электрически удаленной от ТП точки сети. Данная методика позволяет определить потери электроэнергии в линиях, учитывая неравномерность загрузки фаз линии 0,38 кВ.

В качестве исходной информации используются результаты контрольных измерений уровней напряжения на шинах ТП и в наиболее электрически удаленной точке сети 0,38 кВ, фазных токов головного участка в максимум нагрузки:

$$\Delta W_{\%} = K_{\text{м/н}} \cdot K_{\text{дп}} \cdot \Delta U_{\text{ср}\%} \cdot \tau, \quad (4)$$

где  $\Delta U_{\text{ср}\%}$  – средняя относительная величина потерь напряжения для сети;

$K_{\text{дп}}$  – коэффициент дополнительных потерь, учитывающий неравномерность загрузки фаз сети, рассчитываемый по формуле:

$$K_{\text{дп}} = 3 \cdot \frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{(I_A + I_B + I_C)^2} \cdot \left( 1 + 1,5 \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{ф}}} \right) - 1,5 \cdot \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{ф}}} \quad (5)$$

где  $I_A, I_B, I_C$  – измеренные токовые нагрузки фаз;

$R_{\text{н}}$  и  $R_{\text{ф}}$  – сопротивления нулевого и фазного проводов;

$K_{\text{м/н}}$  – коэффициент связи относительных потерь мощности с относительными потерями напряжения, в общем случае зависящий от конфигурации сети, плотности нагрузки и других факторов, предлагается определять по формуле:

$$K_{\text{м/н}} = K_{\text{разв}} \cdot 2r / (2r \cdot \cos^2 \varphi + x \cdot \sin 2\varphi) \quad (6)$$

где  $r$  и  $x$  – активное и реактивное сопротивления головного участка линии 0,38 кВ,

$K_{\text{разв}}$  – коэффициент разветвленности схемы [22].

Выполнение расчетов потерь электроэнергии во всех распределительных линиях в масштабах энергосистемы даже с помощью сравнительно простого метода  $K_{\text{м/н}}$  часто оказывается затруднительным, поэтому для оценки целесообразным следует считать применение метода случайной выборки с последующим распространением результатов расчета с заданной доверительной вероятностью на всю рассматриваемую сеть [23]. Суть метода состоит в расчете относительных потерь электроэнергии не во всех сетях, а только в их части, определенной по одному из способов случайного отбора. При отборе электрических сетей необходимо обеспечить равную вероятность попадания различных распределительных сетей в выборку.

Приведенные выше методы описывают алгоритмы ручного расчета уровня потерь мощности и электроэнергии, однако с развитием компьютерного ПО появились автоматизированные комплексы позволяющие производить расчет

потерь, в автоматическом режиме выбирая при этом метод расчета. Алгоритмы расчета потерь мощности рассматривают производители различного ПО. Для работы с трехфазной несимметричной системой электроснабжения можно воспользоваться такими ПО как RastrWin3, Mustang Этап и т.п.

### **1.3 Снижение потерь электроэнергии**

Снижение потерь электроэнергии при ее распределении является одним из основных направлений энергосбережения в распределительных сетях промышленных предприятий [24].

Рациональное построение электрической сети является основным условием работы электрической сети с минимальными потерями. При этом особое внимание уделяется правильному определению точек деления в замкнутых сетях, экономичному распределению активных и реактивных мощностей, внедрению замкнутых и полужамкнутых схем сети 0,4 кВ.

Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях может быть достигнуто как в результате проведения мероприятий по общей оптимизации сети, когда снижение потерь энергии является одной из составляющих частей комплексного плана, так и в результате проведения мероприятий, направленных только на снижение потерь. По этому признаку все мероприятия по снижению потерь могут быть условно разделены на три группы (рисунок 4):

Группа 1 – организационные, к которым относятся мероприятия по совершенствованию эксплуатационного обслуживания электрических сетей и оптимизации их схем и режимов (малозатратные и беззатратные).

Группа 2 – технические, к которым относятся мероприятия по реконструкции, модернизации и строительству сетей (среднезатратные).

Группа 3 – по совершенствованию учета электроэнергии, которые могут быть как беззатратные, так и требующие дополнительных затрат (при организации новых точек учета) [25].

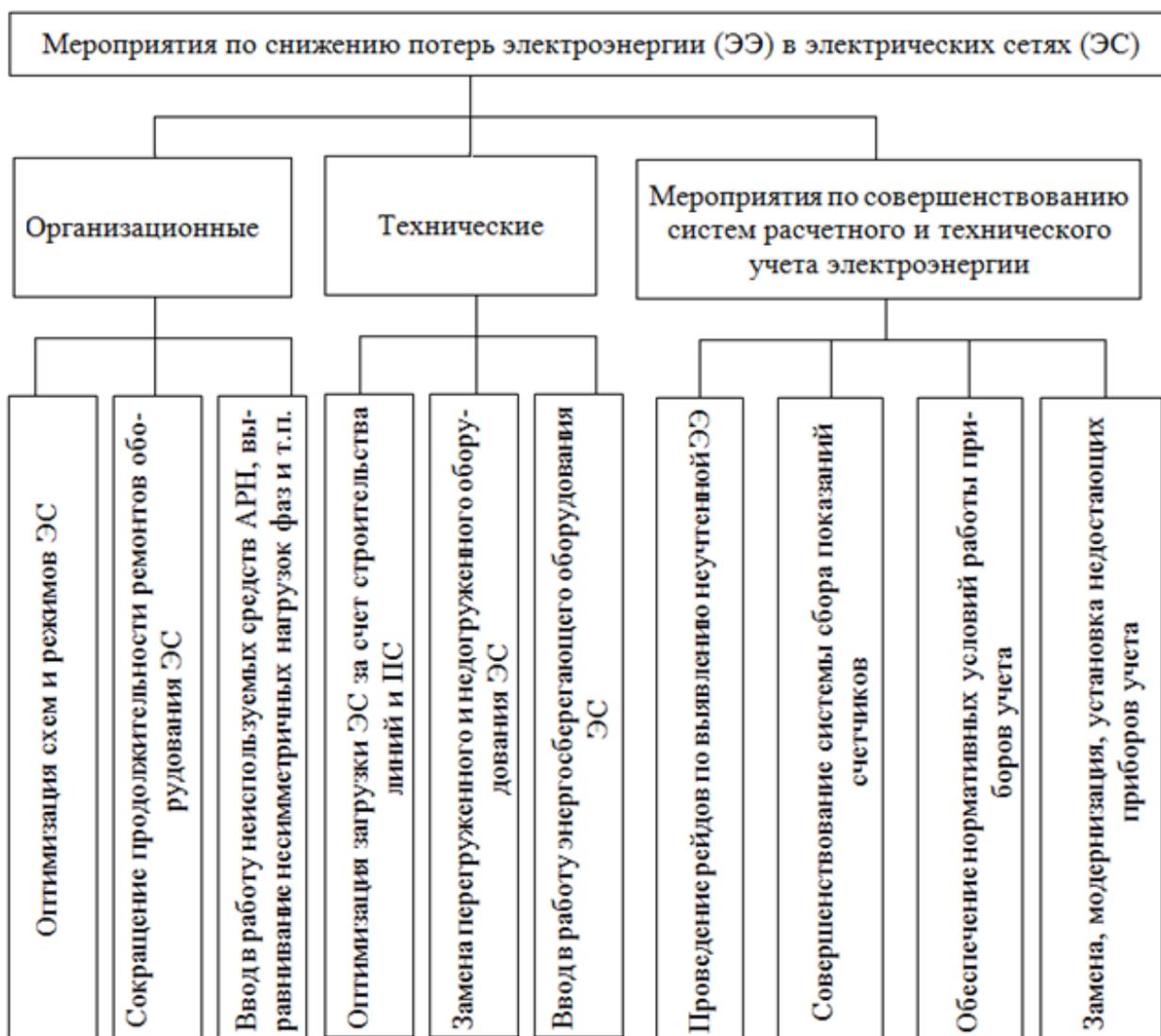


Рисунок 4 – Типовые мероприятия по снижению потерь

К организационным мероприятиям относятся:

- выбор точек оптимального деления сети 6-10 кВ;
- уменьшение времени нахождения линии в отключенном положении при выполнении технического обслуживания и ремонта оборудования и линий;
- снижение несимметрии (неравномерности) загрузки фаз;
- рациональная загрузка силовых трансформаторов.

К приоритетным техническим мероприятиям в распределительных сетях 10 (6)-0,4 кВ относятся:

- сокращение радиуса действия и строительство ВЛ 0,4 кВ в трехфазном исполнении по всей длине;

- применение столбовых трансформаторов (10(6)/0,4 кВ) малой мощности для сокращения протяженности сетей 0,4 кВ;
- применение самонесущих изолированных и защищенных проводов для ВЛ напряжением 0,4-10 кВ;
- использование максимально допустимого сечения проводов в электрических сетях напряжением 0,4-10 кВ с целью адаптации их пропускной способности к росту нагрузок в течение всего срока службы:
  - проведение работы по компенсации реактивных нагрузок;
  - поддержание значений показателей качества электроэнергии в соответствии с требованием;
- внедрение нового экономического электрооборудования, в частности, трансформаторов с уменьшенными активными и реактивными потерями холостого хода, установка конденсаторных батарей встроенных в комплектные трансформаторные подстанции;
- комплексная автоматизация электрических сетей, применение коммутационных аппаратов нового поколения;
- применение средств дистанционного определения мест повреждения в электрических сетях для сокращения времени поиска и ликвидации аварий.

Технические мероприятия могут способствовать значительному снижению потерь мощности, однако зачастую к выбранным мероприятиям следует подходить осторожно. Например, использование максимально допустимого сечения проводников может остановить развитие энергосберегающих технологий, т.е. это приведет к росту нагрузки со стороны предприятий, так как фактически мощная сеть справится с нагрузкой, в свою очередь это приведет к увеличению неравномерности графика нагрузки, а потребители продолжают использовать устаревшее оборудование с низким КПД и т.д.

В составе мероприятий по совершенствованию учета электрической энергии следует предусматривать:

- применение приборов учета (электросчетчики, измерительные трансформаторы) более высокого класса точности измерения;
- осуществление мер по предупреждению несанкционированного доступа к клеммам средств измерений;
- внедрение автоматизированных систем учета, сбора и передачи информации;
- проведение организационных и технических мероприятий по предупреждению выявления и устранению безучетного потребления электрической энергии.

#### 1.4 Несимметрия токов и напряжений

Несимметрия токов и напряжений – это явление в многофазной сети переменного тока, при котором амплитуды фазных напряжений (токов) и углы между ними не равны между собой.

Причины возникновения несимметрии зависят от класса напряжения:

**Сеть 0,38 кВ.** Значительная часть потребителей бытового и промышленного сектора, как правило, представлены однофазной нагрузкой. Так как количество, мощность приборов и их график работы (нагрузки) на каждой фазе отличается, выровнять нагрузку в каждый момент времени невозможно.

Например, на рисунке 5 представлены типовые характеристики небаланса токов: треугольниками сверху показаны события (коммутации) – включение или выключение единиц оборудования (около 2000 событий) и как видно из графика, отреагировать на пофазные изменения из-за их количества не представляется возможным. На рисунке 6 показаны амплитуды и взаимное расположение векторов тока и напряжения для рисунка 5. Как видно, значения амплитуды напряжений и токов отличаются, что говорит о наличии несимметрии токов и напряжений, и для данного конкретного случая небаланс напряжений 1,19%, а токов 15,2%.

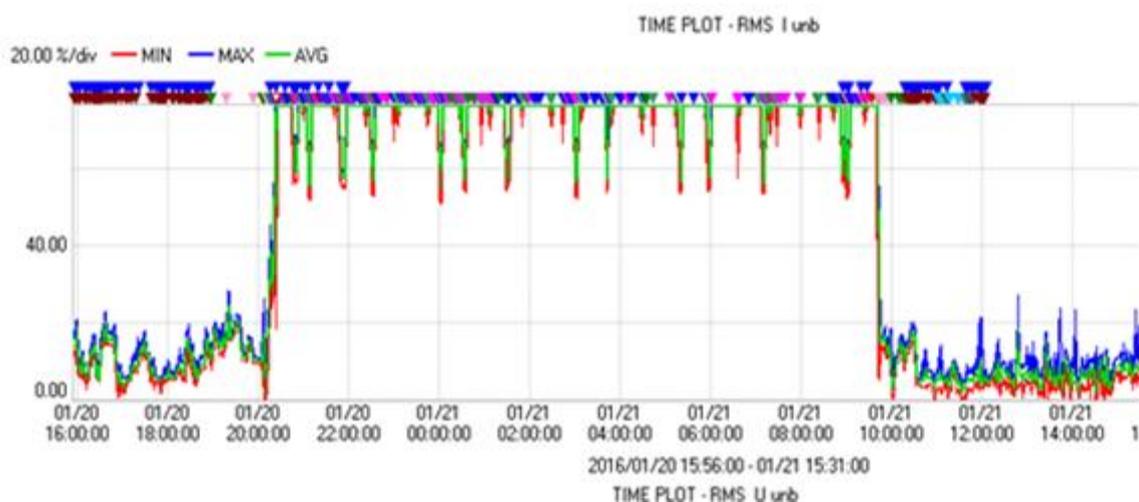


Рисунок 5 – Типовые характеристики несимметрии токов

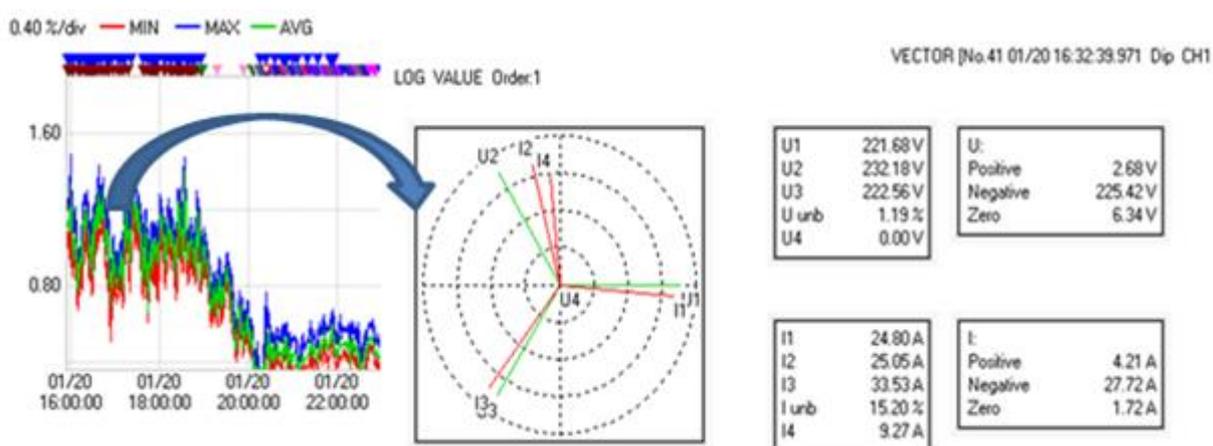


Рисунок 6 – Типовые характеристики несимметрии напряжений

**В сетях 6-20 кВ** несимметрия может являться следствием несимметрии в сетях 0,38 кВ. Также, несмотря на то, что электроприемники данного класса напряжения имеют трехфазное исполнение, некоторые из них также являются причиной несимметрии. Например, дуговые сталеплавильные печи (из-за пофазного регулирования тока электрической дуги; в режиме расплава возникают несимметричные КЗ). Кроме того, сети данного напряжения являются сетями с изолированной нейтралью, работа в неполнофазном режиме (однофазное КЗ) также является причиной несимметрии.

## 1.5 Способы задания нагрузки. СХН.

Для расчетов режимов электрических сетей, нагрузки приемников электроэнергии могут задаваться следующими способами:

- постоянной активной и реактивной мощностью;
- сопротивлением и проводимостью;
- постоянным по фазе и по модулю током;
- статическими характеристиками нагрузки.

Так как изменение напряжения порождает за собой изменение потребляемого тока и мощности нагрузки, стоит применять СХН, так как этот способ более подробно опишет поведение нагрузки при изменении режимных параметров. Первые три способа следует использовать для приближенных и ручных вычислений. Кроме того, в большинстве современных ПО для расчета режимов можно задать нагрузку не только постоянной мощностью или сопротивлением, но и типовыми СХН.

СХН для каждого потребителя определяется персонально, однако в целом, вся нагрузка относится к типовым двигательным или статическим СХН.

Двигательная нагрузка включает в себя асинхронные и синхронные двигатели, зарядные устройства, выходная мощность которых остается постоянной при изменении напряжения. На рисунке 7 представлены типовые зависимости тока и мощности нагрузки от напряжения.

К статической нагрузке относятся лампы накаливания, резистивные нагревательные элементы, конденсаторы и фильтры гармоник, входная мощность которых пропорциональна квадрату входного напряжения (рисунок 8).

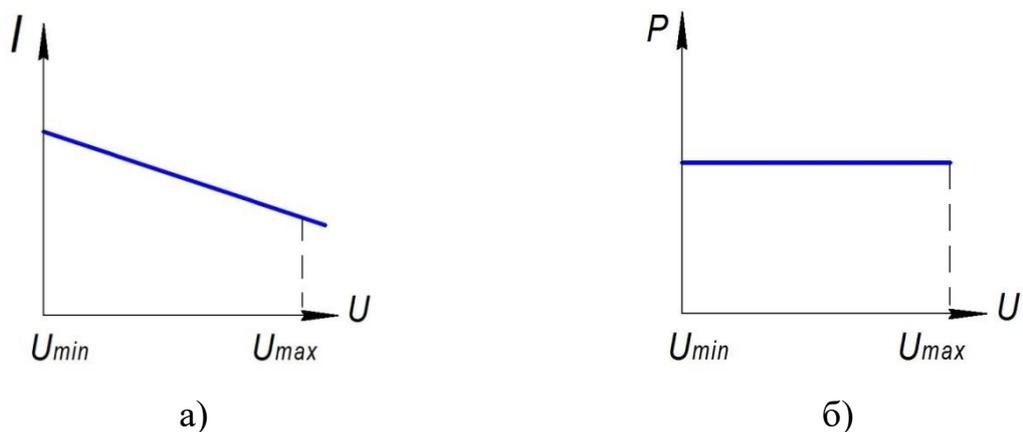


Рисунок 7 – а) зависимости тока и б) мощности нагрузки от напряжения для двигательной нагрузки

Для каждой фазы  $\cos\varphi$  задается как случайная величина, при этом средневзвешенное значение коэффициента мощности равно 80%. Нагрузка соответствует действительным условиям эксплуатации и установлена по приборам учета ЭЭ потребителей.

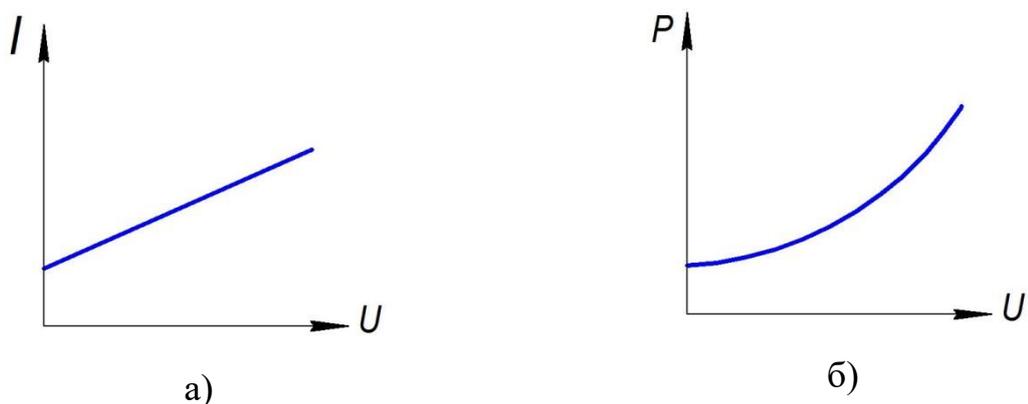


Рисунок 8 – а) зависимости тока и б) мощности нагрузки от напряжения для статической нагрузки

## 1.6 Техническое описание схемы. Постановка задач

Исследуемым объектом является участок городской распределительной электрической сети города Томска. Источником питания является РП «Тверской». На выбранном участке схемы РП обеспечивает электроэнергией 16 ТП 10-0,4кВ, соединенные с РП (и между собой) кабельными линиями. На каждой подстанции установлены понижающие трансформаторы, установленной мощ-

ностью от 160 да 1000 кВА, которые преобразуют напряжение 10 кВ до величины 0,4 кВ, затем энергия идет к потребителям.

Основная часть ТП обеспечивает ЭЭ коммунально-бытовых потребителей. Помимо коммунально-бытовых потребителей осуществляется питание торгового центра (ТП 784, 786, 788), насосную станцию (ТП 351) и промышленный объект (ТП 145). Для торгового центра, насосной станции и промышленного объекта при расчетах были использованы типовые графики электрических нагрузок [26, 27]. Для ТП 459 был использован типовой график электрической нагрузки для многоэтажного квартирника с электрическими плитами [28]. При вычитании имеющихся графиков нагрузок ТП (784, 786, 788, 351, 145, 459) из общего графика нагрузки для участка сети (рисунок 1.1) и с учетом номинальных мощностей трансформаторов установленных на ТП получены графики электрических нагрузок для остальных коммунально-бытовых потребителей. На рисунке 10 представлен график нагрузки для ТП 481. Форма графиков нагрузки для остальных ТП питающих жилищно-коммунальный сектор аналогична графику, приведенному на рисунке 10. На подстанции установлены два трансформатора типа ТМ-630 на напряжение 10/0,4 кВ. От подстанции осуществляется питание двух девятиэтажных жилых домов, среднемесячная нагрузка которых составляет 385,66 кВА. Топология и данные участка городской сети соответствуют реальным условиям эксплуатации. Основная часть потерь приходится на кабельные линии и трансформаторы, поэтому учитываем потери ЭЭ только в этих элементах сети.

В таблицах приложения А представлены параметры трансформаторов и кабельных линий 10 кВ для исследуемого участка сети.

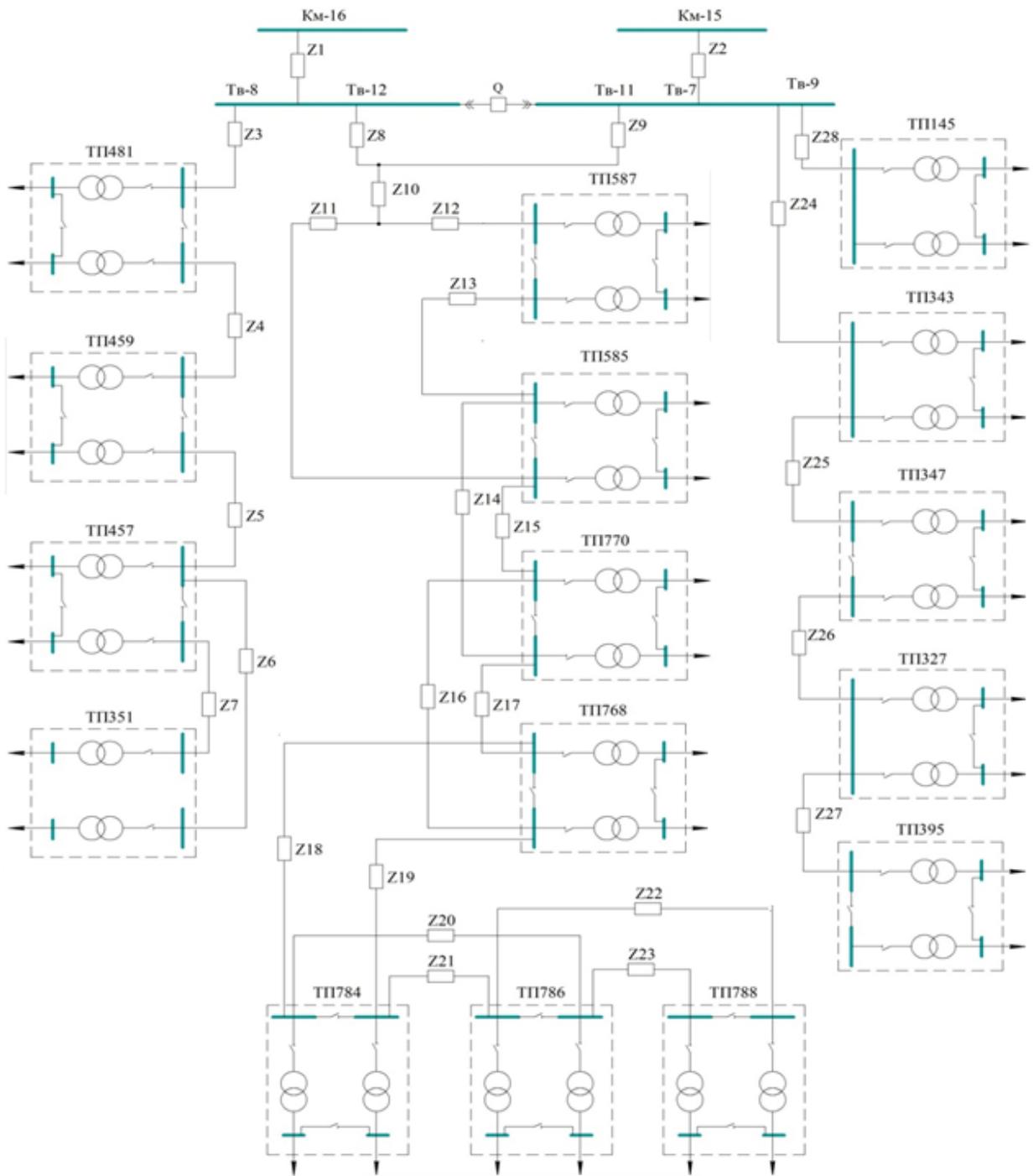


Рисунок 9 – Принципиальная схема исследуемого участка сети

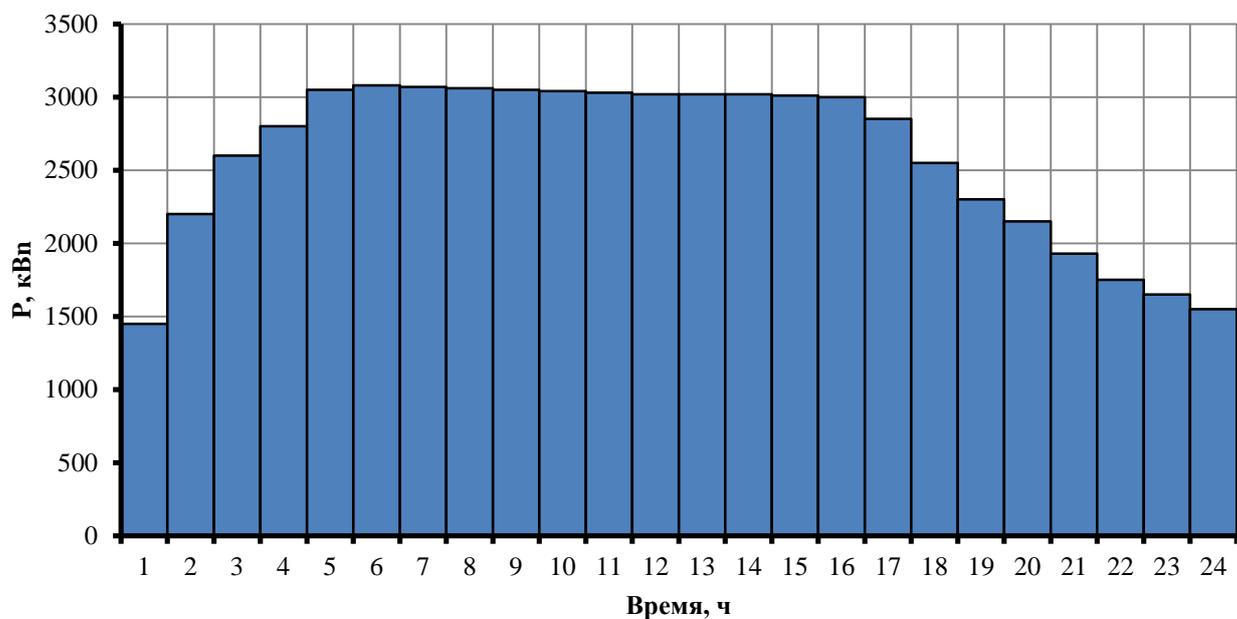


Рисунок 10 – Суммарный график нагрузки для участка исследуемой сети

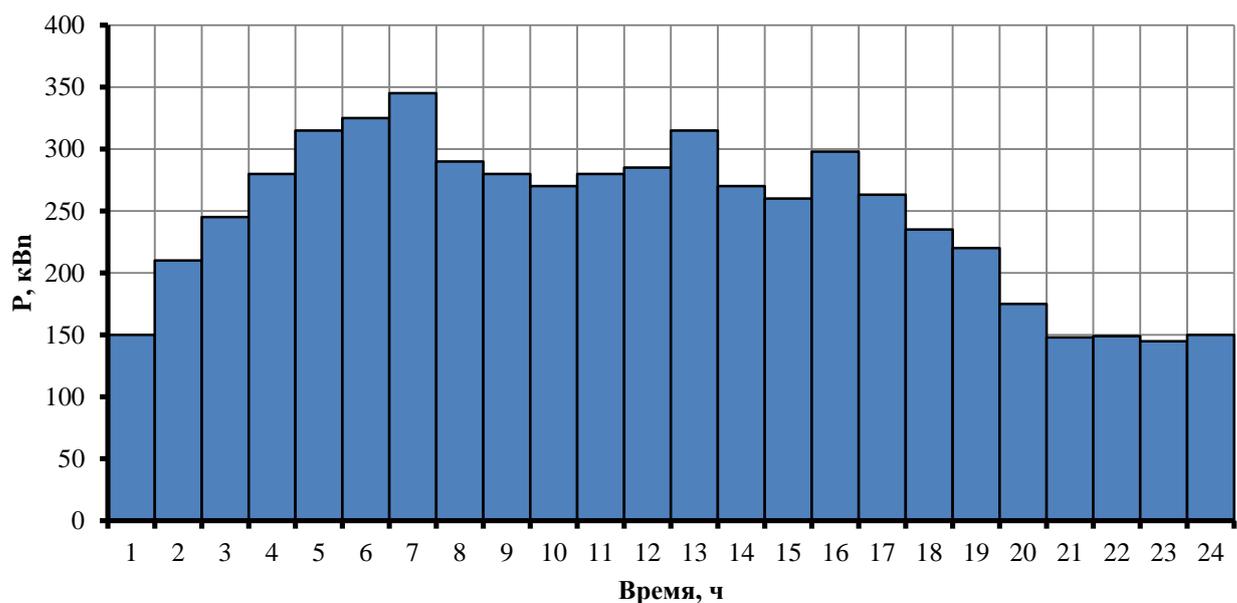


Рисунок 11 – График нагрузки для ТП 481

Постановка задач:

Для проведения оптимизации участка распределительных сетей, необходимо произвести анализ режимов его работы. Так, следует начать с расчетов нормальных установившихся режимов: максимальной и минимальной нагрузок.

Кроме того для более точного анализа, следует промоделировать данные режимы согласно суточному графику нагрузки.

В качестве основных критериев оптимизации режимов, рассматриваются потери мощности и электроэнергии (минимум потерь мощности), а также уровень потребления мощности из сети. В силу особенностей данного электросетевого участка (мощное оборудование и малые нагрузки, большая протяженность), для оптимизации данных режимов, наиболее целесообразно рассмотрение следующих мероприятий:

1. оптимизация мест размыкания линий 10 кВ с двусторонним питанием;
2. исследование рациональной загрузки электрического оборудования (отключение части электросетевого оборудования).

### **3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

#### **3.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования**

Потребителем результатов исследования является компания ПАО «ТРК». Исследования происходили на материально-технической базе данной компании, а рассматриваемый участок городской распределительной сети принадлежит данной компании.

Публичное акционерное общество «Томская распределительная компания» (входит в группу компаний «Россети») – региональная энергетическая компания, обеспечивающая передачу и распределение электроэнергии на всей территории региона.

Протяжённость линий электропередачи (по трассе) – 17 650 км, количество центров питания 35/110 кВ – 136 шт., подстанций 10/0,4 кВ – 3096, суммарная трансформаторная мощность – 3 899 МВА.

В компанию входят пять производственных отделений: «Центральные электрические сети», «Северные электрические сети», «Восточные электрические сети», расположенные в административных центрах региона, в состав которых включены 19 районов электрических сетей. А также производственные отделения: по корпоративным и технологическим АСУ, и Центр управления сетями.

#### **Миссия и стратегия**

Миссия ПАО «ТРК» – надежное и качественное электроснабжение потребителей, реализация интересов акционеров, обеспечение социальной стабильности и эффективного развития экономики региона.

## **Стратегические приоритеты Общества**

Стратегические приоритеты Общества ориентированы на реализацию Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации, утвержденной распоряжением Правительства РФ № 511-р от 3 апреля 2013 года. В их числе:

- обеспечение безопасного и устойчивого функционирования распределительного электросетевого комплекса Томской области;
- повышение надежности и качества реализуемых услуг;
- повышение операционной и инвестиционной эффективности;
- создание новой электросетевой инфраструктуры региона на основе инновационного масштабного технологического обновления;
- повышение инвестиционной привлекательности;
- повышение энергоэффективности;
- развитие социально ответственной деловой практики;
- повышение доступности электросетевой инфраструктуры.

Применение результатов исследования приведет к снижению потерь мощности и электроэнергии, тем самым к повышению энергоэффективности участка сети, а также к повышению надежности и качества реализуемых услуг. На основании приведенных выше приоритетов компании, результаты исследования полностью соответствуют приоритетам компании, более того снижение потерь мощности позволит сэкономить на потерях при передаче и распределении электроэнергии без значительных инвестиций.

### **3.2 Технический план проекта**

#### **Организация и планирование научно-исследовательских работ**

Для выполнения работы собирается рабочая группа из двух человек, в которую входят руководитель проекта (РП) и инженер службы режимов (ИСР). Для внедрения результатов работы, помимо сформированной группы, потребуется участие бригады электромонтеров БЭ (действия рассматриваются как одного исполнителя). Далее составляется поэтапный перечень всех необходимых работ, выбирается оптимальное время их исполнения в рабочих днях и количество задействованных в работе человек. Результаты проделанной работы занесены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Этапы работ

№	Описание работы	Исполнитель
1	Разработка технического задания	РП
2	Подготовка рабочего места и программного обеспечения, закупка материалов	РП, ИСР
3	Составление плана расчета и подготовка литературы и справочных данных	РП, ИСР
4	Анализ литературы, подбор вариантов оптимизации	РП, ИСР
5	Определение метода, подготовка необходимых данных для проведения расчетов по выбранному методу	ИСР
6	Моделирование режимов работы	ИСР
7	Описание и анализ задач и методов оптимизации режимов электрических сетей	ИСР
8	Оптимизация режимов с обоснованием выбранных методов	ИСР
9	Оценка эффективности оптимизации	ИСР
10	Подготовка комплекта документации, в том числе планов внедрения	РП, ИСР
11	Внедрение результатов	БЭ

## Линейное планирование

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях. Для расчёта ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{\text{ож}i}$  используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{maxi}}}{5},$$

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

$t_{\text{mini}}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\text{maxi}}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Исходя из расчётов трудоемкости работ, определяется время выполнения каждой  $i$ -ой работы ( $T_{pi}$ ) по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для примера расчета, рассчитаем ожидаемую трудоемкость и продолжительность работы №1:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{maxi}}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8;$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \approx 3.$$

В таблице 3.2 представлен календарный график работ.

Также был построен календарный план-график проведения работы. Данный календарный план-график представлен на рисунках Е.1-Е.2.

Таблица 3.2 – Календарный график

Название Работы	Трудоёмкость работ			Численность исполнителей $Ч_i$	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ожг}$ , чел-дни		
Разработка технического задания	2	4	2,8	1	3
Подготовка рабочего места и программного обеспечения, закупка материалов	3	8	5	2	3
Составление плана расчета и подготовка литературы и справочных данных	8	12	9,6	2	5
Анализ литературы, подбор вариантов оптимизации	4	6	4,8	2	3
Определение метода, подготовка необходимых данных для проведения расчетов по выбранному методу	4	8	5,6	1	6
Моделирование режимов работы	10	18	13,2	1	14
Описание и анализ задач и методов оптимизации режимов электрических сетей	3	7	4,6	1	5
Оптимизация режимов с обоснованием выбранных методов	6	12	8,4	1	9
Оценка эффективности оптимизации	4	8	5,6	1	6
Подготовка комплекта документации, в том числе планов внедрения	18	26	21,2	2	11
Внедрение результатов	7	14	9,8	1	10

Вывод: Из результатов организации и планирования НИР следует, что для реализации проекта необходимо два исполнителя – руководитель и инженер службы режима. Руководитель занимается организационными вопросами, кон-

тролем и проверкой расчетов, суммарная длительность работ для него составляет 25 рабочих дней. Инженер службы режимов выполняет непосредственно расчеты, длительность работ для него составляет 62 дня. Бригада электромонтеров полностью произведет переключения за 10 дней. На выполнение всего проекта исполнителям потребуется 75 рабочих дней.

### 3.3 Бюджет научного исследования (Смета)

При формировании бюджета учитываются следующие группы затрат:

- 1) материальные затраты;
- 2) затраты на оплату труда;
- 3) отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- 4) амортизация;
- 5) накладные расходы.

#### Расчет материальных затрат

В пункте «Материальные затраты» отражается стоимость приобретенных материалов, которые являются необходимыми компонентами при проведении исследовательских работ.

Материальные затраты сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Канцелярские расходы

№	Наименование изделия	Количество (ед. штук, упаковок)	Цена единицы изделия, руб.	Общая стоимость изделия, руб.
1	карандаши	4	30	120
2	ручки	4	50	200
3	бумага для печати	3	250	750
4	скобы для степлера	4	25	100
Итого:	1170 руб.			

## Расчет затрат на оборудование

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме. Так как данный проект выполняется на базе производственного помещения с двумя компьютерами принтером и предустановленным программным обеспечением, то необходимо посчитать амортизацию средств на проведение исследования.

Расчет амортизации проводился следующим образом:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2,$$

где  $H_A$  – норма амортизации;

$n$  – срок полезного использования в количествах лет;

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 160,6}{12} \cdot 4 = 10,7 \text{ тыс.руб.},$$

где  $I$  – итоговая сумма в тыс.руб.;

$m$  – время использования в месяцах.

Все затраты на оборудование занесены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	2	35	70
2	Принтер лазерный	1	10	10
3	Программное обеспечение Microsoft Visio 2016	2	11,4	23,8
4	Программное обеспечение Microsoft Office	2	14,9	30,8
5	ПК RASTRWIN3	1	26	26
Итого:				160,6 тыс. руб.

### Затраты на оплату труда

Расходы по оплате труда определяются исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов.

Дополнительная заработная плата исполнителей равна 12 % от основной заработной платы, а также зарплата зависит от географического места работы.

$$Z_{зп} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \cdot 1,3,$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 % от  $Z_{осн}$ );

1,3 – районный коэффициент для г. Томска.

Расчет заработной платы представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Расчет заработной платы

Исполнители	N дней, дн	Оклад, руб	Доплаты премии, руб.	$Z_{мес}$ , руб./мес.	$Z_{день}$ , руб./день.	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб	$Z_{зп}$ , руб
Р	25	28000	7500	41850	2098	52440	6290	58730
ИСР	64	20000	5050	32565	1480	91770	11010	102780
Итого $Z_{зп}$		161510 рублей						

### Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды - это 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.

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по следующей формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{зп}},$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Итого по отчислениям во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{зп}} = 161,51 \cdot 0,3 = 48,45 \text{ тыс.руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	$Z_{\text{зп}}$ , руб.	$Z_{\text{внеб}}$ , руб.
Проектировщик	53730	17619
Научный руководитель	102780	30834
Итого:		48450

### Накладные расходы

К элементу «Накладные расходы» относятся налоги, сборы, платежи по обязательному страхованию имущества, платежи за предельно допустимые выбросы загрязняющих веществ; вознаграждения за изобретения и рационализаторские предложения; затраты на командировки; плата сторонним организациям за пожарную и сторожевую охрану; за подготовку кадров; оплата услуг связи, вычислительных центров, банков; плата за аренду; представительские расходы; затраты на ремонт. И принимаются на уровне 16 % от затрат на осуществление технического проекта.

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{затраты на тех.проект}) \cdot k_{\text{нр}}$$

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

## Формирование сметы бюджета затрат

Смета бюджета затрат отражает сумму средств необходимых для конкретного пункта проекта.

Смета бюджета затрат представлена в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Смета бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	Структура, %
1. Материальные затраты	1170	0,4
2. Затраты на оплату труда исполнителей	168510	61,9
3. Отчисления во внебюджетные фонды	48450	17,8
4. Амортизация	10720	3,9
5. Накладные расходы	43590	16
Бюджет затрат	272440	100

Общая сумма расходов на осуществление технического проекта – 272440 руб. Наибольшие расходы приходятся на затраты на оплату труда (61,9 % от всей суммы).

### 3.4 Сравнительная эффективность

Для оценки эффективности решения по сравнению с применяемым, строится оценочная карта сравнения двух вариантов. Такой анализ технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Основываясь на этих знаниях, следует объяснить:

- чем обусловлена уязвимость позиции конкурентов и возможно занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка;

- в чем конкурентное преимущество разработки.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Для нормального функционирования данного проекта необходимо принять во внимание следующие критерии:

1. надежность – соответствие расчетов реальным состояниям, связанным с бесперебойным снабжением потребителей электроэнергией надлежащего качества;
2. гибкость – способность проекта реагировать на изменение условий, в данном случае система электроснабжения должна быть рассчитана на «рост» в случае необходимости расширения предприятия и должна допускать легкое приспособление к изменению технологических процессов;
3. адаптивность – возможность приспособить данный проект под другие условия, другую часть энергосистемы и т.д.
4. простота эксплуатации – проект должен быть выполнен с обеспечением рационального расположения элементов, ясностью и простотой схемы, с целью создания условий для работы с проектом персонала средней квалификации;
5. экономичность – проект должен быть выполнен таким образом, чтобы затраты на его создание, эксплуатацию и развитие были минимальными при условии соблюдения требований гибкости, безопасности и надежности.

После выбора критериев оценивается вес каждого, сумма всех весовых коэффициентов должна быть равна 1. Далее на основании состояния системы для имеющегося (используемого) и разработанного (нового) решения все критерии оцениваются по 5-ти бальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная, для каждого варианта. Оценочная карта представлена в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Оценочная карта сравнения имеющегося решения с разработанным

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка базовая	Балльная оценка разработки
Экономическая целесообразность	0,3	3	5
Адаптивность	0,25	5	5
Надежность ЭС	0,2	3	3
Качество ЭЭ	0,15	3	5
Простота эксплуатации	0,1	4	3
Итого:	1	18	21

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K_{pi} = \sum V_i \cdot B_i,$$

где  $V_i$  – вес показателя;

$B_i$  – бал  $i$ -го показателя.

Сравнение вариантов:

$$K_{p1} = 0,3 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 = 3,6$$

$$K_{p2} = 0,3 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 = 4,4$$

По 5-балльной шкале показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта. Более того, основываясь на сравнительной оценке можно отметить значительную экономию и значительное повышение качества электроэнергии без использования дополнительного оборудования и при практически том же режиме работы электрической сети.

### **Заключение по разделу:**

Проведя анализ данного раздела, была получена оценка научного уровня и произведено планирование научно-исследовательской работы. Также был произведён расчет проведения научно-исследовательской работы по оптимизации режимов электрических сетей.

Результаты данного исследования могут быть использованы для проведения более масштабных научно-исследовательских работ, а также быть использованы различными проектными фирмами, занимающихся работой с режимами энергосистем. Данная работа может быть опубликована и использоваться для облегчения расчета режимов энергосистем. За счет проведения исследования на базе помещения с необходимыми средствами для расчета экономится значительная часть финансовых ресурсов. В итоге затраты исследования составили 272440 рублей. Это позволяет утверждать, что данное исследование эффективно, так как средняя цена проведения анализа в данной области гораздо выше. Определение ресурсоэффективности показало, что проект удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, а также эффективности его использования.