

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

---

Институт: Энергетический

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра: Электрические сети и электротехника

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Эквивалентирование Парабельского энергоузла на базе режимных параметров</b>

УДК 621.311.004.13(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Троцкая Ирина Алексеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры электрических сетей и электротехники	Готман Владимир Иванович	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2016 г.

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

---

Институт: Энергетический  
Направление подготовки: 13.03.02 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: бакалаврской выпускной квалификационной работы  
Студенту:

Группа	ФИО
5А2Г	Троцкой Ирине Алексеевне

Тема работы:

**Сопоставительный анализ методов определения потерь электроэнергии в энергосистемах**

Утверждена приказом

Дата: 27.04.2016 № 219/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

14 июня 2016 года

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(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.).*

**Объектом исследования является**

**Парабельский энергоузел.**

**Исходными данными являются:**

**принципиальная схема Парабельского энергоузла и параметры её силовых элементов (марка и длины ВЛЭП; параметры трансформаторов, мощности нагрузок и др.)**

<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>	<p>- Описание методов эквивалентирования и расчетов установившихся режимов энергосистем</p> <p>- Электронная модель исследуемого объекта и расчеты установившихся режимов;</p> <p>- Эквивалентирование Парабельского энергорайона и расчет параметров эквивалентов</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><b>Схема Парабельского энергоузла, результаты экспериментальных исследований.</b></p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Ассистент кафедры менеджмента Грахова Елена Александровна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Амелькович Юлия Александровна</p>

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>18.02.2016 г.</p>
--	----------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент кафедры электрических сетей и электротехники</p>	<p>Готман Владимир Иванович</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		<p>18.02.2016 г..</p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5А2Г</p>	<p>Троцкая Ирина Алексеевна</p>		<p>18.02.2016 г..</p>

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

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
5А2Г		Троцкой Ирине Алексеевне	
<b>Институт</b>	<b>ЭНИН</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭСиЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>При проведении исследования используется база лабораторий ЭНИН ТПУ; ограничение по времени составляет с 7:00 до 22:00. В исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>ГОСТ 14.322-83 Нормирование расхода материала. Основные положения; ГОСТ 51541-99 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления по страховым взносам составляют 30% от ФОТ Районный коэффициент составляет 30% Тарифная ставка равная 2,65</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Технико-экономическое обоснование НИР</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Проект выполнен в рамках выпускной квалификационной работы, разработка устава не требуется.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Организация и планирование научного исследования Смета затрат на разработку НИР</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Оценка научно-технического уровня проекта</i>

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перечень работ</li> <li>2. Диаграмма Ганта</li> <li>3. Бюджет проекта</li> </ol>
--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5А2Г	Троцкая Ирина Алексеевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А2Г	Тройкой Ирине Алексеевне

<b>Институт</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭСиЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>
Бакалавриат		

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеословия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>Предметом исследования является Парабельский энергоузел, основное рабочее место располагается в производственном помещении ПАО «ТРК».</p> <p>-вредные проявления (электромагнитные поля, повышенный уровень шума на рабочем месте, повышенная температура воздуха на рабочем месте)</p> <p>-опасные проявления (опасные уровни напряжения в электрических цепях, замыкание которых может пройти через тело человека; а так же проявления пожарной и взрывной природы).</p>
<p>1. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ПУЭ, ПТЭ, ПТБ</p>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>В данном разделе будет рассмотрена:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p>Данная глава посвящается изучению:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</li> </ul> <p>пожаро-, взрыво-безопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul>	<p>Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>гидросферу (сбросы);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul> <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<p>Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> </ul> <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> </ul> <p>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</p>
<p><b>Перечень графического материала:</b></p>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Троцкая Ирина Алексеевна		

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

---

Институт: Энергетический

Направление подготовки: 13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавриат

Кафедра: Электрические сети и электротехника

Период выполнения: весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы: Бакалаврская выпускная квалификационная работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы: 14 июня 2015 года

Дата контроля	Название раздела/ вид работы	Максимальный балл раздела
15.03.2015	<i>Описание методов эквивалентирования и расчетов установившихся ре-жимов энергосистем</i>	25%
10.04.2015	<i>Электронная модель исследуемого объекта и расчеты установившихся режимов</i>	30%
15.05.2015	<i>Эквивалентирование Парабельского энергорайона и расчет параметров эквивалентов</i>	25%
03.06.2015	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10%
06.06.2015	<i>Социальная ответственность</i>	10%
10.06.2015	<i>Выполненный дипломный проект</i>	100%

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. кафедры ЭСиЭ	Готман Владимир Иванович	к.т.н., доцент		18.02.2016 г..

**СОГЛАСОВАНО:**

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

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Направление ООП: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль: Электроэнергетические системы и сети

Кафедра, институт: кафедра «Электрические сети и электротехника», Энергетический институт

<b>Результат обучения</b>	
<b>Профессиональные компетенции</b>	
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
Р 2	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
Р 4	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.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
Р 6	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.
<b>Универсальные компетенции</b>	
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники
Р 8	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.
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.

## Содержание

Реферат .....	11
Введение .....	11
Перечень сокращений в алфавитном порядке .....	13
Термины и определения.....	14
1. Общие сведения по эквивалентированию и расчетам режимов энергосистем .....	15
1.1 Краткие сведения по эквивалентированию энергосистем .....	15
1.2 Описание установившегося режима энергосистем уравнениями узловых мощностей и их решение методом Ньютона.....	16
2. Электронная модель исследуемого объекта и расчеты установившихся режимов .....	23
2.1 Сбор и подготовка исходных данных для схемы электроснабжения Парабельского энергоузла. ....	23
2.2. Подготовка электронной модели схемы Парабельского энергоузла .....	27
2.3 Расчеты максимального и минимального установившихся режимов и введение параметров режимов в допустимую область.....	27
3. Эквивалентирование Парабельского энергоузла и расчет параметров эквивалентов.....	32
3.1. Математическая модель эквивалентирования подсистем обобщенными статическими характеристиками. ....	32
3.3. Расчет параметры эквивалентов в виде обобщенных статических характеристик энергоузла и активного четырехполюсника.....	42
3.3.1 Расчет параметров эквивалента в виде активного четырехполюсника	42
3.3.2 Расчет параметров эквивалента обобщенных статических характеристик методом наименьших квадратов.....	45
Заключение .....	48
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	49
4.1 Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы	50
4.1.1 Организация и планирование научного исследования .....	50
4.2. Смета затрат на разработку исследования.....	54
4.2.1 Материальные затраты .....	54
4.2.2 Амортизационные отчисления .....	54
4.2.3 Расходы на оплату труда .....	56
4.2.4 Отчисления во внебюджетные страховые фонды.....	58
4.2.5 Накладные расходы .....	58

4.2.6 Себестоимость проекта .....	58
4.3 Оценка научно-технического уровня проекта.....	59
5 Социальная ответственность .....	61
5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	62
5.1.1 Микроклимат .....	64
5.1.2 Освещение.....	66
5.1.3 Шум .....	68
5.1.4 Электромагнитное излучение .....	69
5.2 Анализ выявленных опасных факторов.....	70
5.2.1 Электробезопасность .....	70
5.3 Охрана окружающей среды .....	71
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	72
5.5 Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности...	76
Список использованных источников .....	78
Приложение А .....	80
Приложение Б.....	81
Приложение В .....	82

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 83 страницы, 6 рисунков, 23 таблицы, 20 источников, 3 приложения.

**Ключевые слова:** эквивалентирование, режим энергосистемы, расчет режимов, энергосистема, статические характеристики.

Объектом исследования является схема Парабельского энергоузла, который представляет собой часть Томской энергосистемы

Цель работы – создание модели Парабельского узла в программном комплексе, расчет установившихся режимов и эквивалента данного узла. Сравнение полученных результатов.

В процессе исследования проводились расчеты максимального и минимального установившихся режимов Парабельского энергоузла и параметров эквивалента для данного энергоузла.

## Введение

Энергетика является базовой отраслью Российской экономики и необходимой составляющей промышленного потенциала России. И с каждым годом ее значимость только возрастает.

Современные электроэнергетические системы имеют большую размерность и представляют собой сложный объект управления. В настоящее время прослеживается непрерывный рост энергосистем и их объединение. И кроме этого, мы наблюдаем, автоматизацию управления отдельными объектами и процессами с широким использованием электронных вычислительных машин. Расчеты с учетом реальных электрических схем объединенной энергосистемы даже с использованием электронных вычислительных машин затруднительны, в связи с этим все более становятся актуальными исследования, посвященные разработке математических моделей представления электрических систем, которые позволяют идеализировать исходную схему. Данные модели имеют меньшую размерность и позволяют сократить время необходимое для расчетов, но при этом строго отражают свойства рассчитываемой энергосистемы или ее части для того режимного состояния, при котором производился расчет.

Единая энергетическая система России является самым крупным централизованно управляемым энергообъединением в мире. Ее размерность велика, и управление таким объектом является сложным процессом, требующим большого количества ресурсов. И это говорит еще раз об актуальности исследований эквивалентирования.

В данной работе будет исследоваться Парабельский энергоузел. А именно будет произведен расчет установившегося режима и эквивалентирование данного узла на базе режимных параметров.

## Перечень сокращений в алфавитном порядке

- АТ – Автотрансформатор
- БСК - Батареи статических конденсаторов
- ВЛЭП – Воздушная линия электропередачи
- ГЭС - Гидроэлектростанция
- ЕЭС – Единая энергетическая система
- ЛЭП – Линия электропередачи
- ОАО – Открытое акционерное общество
- ОЭС - Объединённая энергосистема
- ПС – Подстанция
- РПН – Регулирование напряжения под нагрузкой
- УБМ – уравнения узловых напряжения в форме баланса мощностей
- ШБМ – шин бесконечной мощности
- ШР – Шунтирующий реактор
- ЭВМ – Электронная вычислительная машина
- ЭДС – Электродвижущая сила
- ЭС – Электроэнергетическая система

## Термины и определения

**Параметры режима:** показатели, отражающие условия работы системы.

**Режим электрической сети:** электрическое состояние сети, которое количественно характеризуется параметрами режима.

**Установившийся режим:** режим работы системы, который характеризуется неизменностью ее параметров (потоков мощности в ветвях, напряжениями и сдвигами фазовых углов в узлах) или очень медленными и нерегулярными их изменениями.

**Эквивалентирование:** замещения одного объекта другим объектом, сохраняя все входные параметры и выходные параметры и функциональные связи между объектом и системой в целом.

**Энергосистема:** совокупность электрических станций, электрических сетей и потребителей электроэнергии, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, распределения и потребления электрической и тепловой энергии, при общем управлении этим режимом.

# **1. Общие сведения по эквивалентированию и расчетам режимов энергосистем**

## **1.1 Краткие сведения по эквивалентированию энергосистем**

В электроэнергетике до 70-х годов любые упрощения преобразования, даже не строгие признавались эквивалентными, если они с допустимой точностью сохраняли неизменность интересующей нас системы токов и напряжений. В начале 80-х годов эквивалентированием электрических систем стали называть процесс получения упрощенных моделей электрических систем. При этом замена исходной схемы ЭЭС ее упрощенной моделью признавалась оправданной и допустимой, если характеристики моделей, являющиеся предметом исследования, были достаточно близки.

Под эквивалентированием электрической системы понимается совокупность операций, направленных на упрощение структуры как исходной системы (схем замещения), так и ее математической модели с заданной точностью. Целью эквивалентирования электроэнергетических систем, по существу, является оптимальное упрощение моделей, предназначенных для цифровых вычислительных машин или специализированных моделирующих комплексов. Эффективное эквивалентирование должно создавать возможности решения более сложных задач без снижения качества получаемых результатов при фиксированной стоимости решения и, с другой стороны, понижать эту стоимость при заданной сложности задачи и качестве результатов.

Качество эквивалентирования принято оценивать уровнями погрешностей граничных переменных, получаемых при подключении эквивалента вместо исходной схемы в области актуальных схемно-режимных состояний ЭЭС. Эти погрешности не должны выходить за пределы допустимых значений.

Содержание понятия “эквивалентирования” в теории линейных электрических цепей охватывает приемы преобразования сложных

электрических цепей в более простые, при которых “не изменяется интересующая нас система токов и напряжений”. Методики упрощения, построенные на элементарных и более сложных преобразованиях цепей, получили наименование методик параметрического эквивалентирования. Для изменения геометрического образа преобразуемой части цепи и соответствующих изменений ее параметров: сопротивлении, напряжении источников электродвижущих сил (э.д.с), токов источников тока, - в ТЛЭЦ выработаны и продолжают разрабатываться строгие правила эквивалентных преобразований.

Получаемую в результате эквивалентирования упрощенную модель подсистемы ЭСС, удовлетворяющую критерию неизменности актуального множества режимных параметров, принято называть “эквивалентом”. При этом совокупность методик построения эквивалентов, базирующихся на преобразованиях топологии и параметров элементов, называют параметрическим эквивалентированием. Все остальные методики включают в разной мере элементы кибернетического подхода воспроизведения режимных состояний граничных переменных эквивалентруемых подсистем и поэтому их умело объединить под пока мало распространенным термином режимное эквивалентирование энергосистем.

## **1.2 Описание установившегося режима энергосистем уравнениями узловых мощностей и их решение методом Ньютона**

Для решения задач по режимному эквивалентированию электрических подсистем требуется расчет установившихся режимов. Целью таких расчетов является преобразование исходной информации о параметрах нагрузки, источников питания и электрической сети в конечную – о параметрах режима системы, т.е. определение векторов напряжения узлов и потоков мощности ветвей. В основе расчета параметров режима лежит решение системы уравнений. Эти уравнения базируются на известных законах Ома и Кирхгофа, которым подчиняется протекание тока (мощности) в электрической цепи[3].

Этапу составления уравнений электрической системы предшествует выбор схемы замещения ее отдельных элементов. Схема замещения энергосистемы представляет совокупность схем замещения ее узлов с учетом связей между ними.

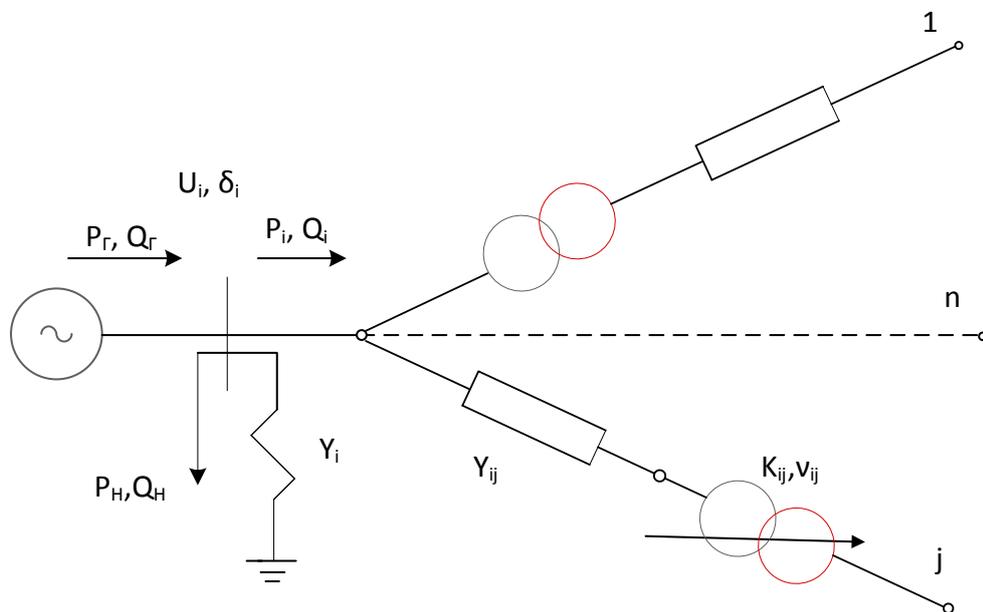


Рис.1.1 Схема замещения узла системы

В общем виде все узлы электрической системы можно представить некоторой схемой замещения (рис.1). Эта схема предполагает, что в каждом узле есть источник активной ( $P_{Gi}$ ) и реактивной ( $Q_{Gi}$ ) мощности, активная и реактивная ( $P_{Gi}$ ,  $Q_{Gi}$ ) нагрузка, проводимость на землю  $y_i$  и проводимости связи со смежными узлами  $y_{ij}$ , обтекаемые сетевой мощностью ( $P_i, Q_i$ ). Вектор напряжения узла  $\dot{U}_i$  характеризуется модулем  $U_i$  и фазой  $\delta_i$ , отсчитываемой относительно синхронно вращающейся оси [3].

Метод расчета установившихся режимов наиболее широкое распространение имеют уравнения баланса мощностей в тригонометрической форме. Условимся схему электрической системы представлять в виде пассивного многоугольника ( $n$ -полюсника), к вершинам которого подключены двухполюсники, замещающие генераторы, источники реактивной мощности, нагрузки и ветви поперечной проводимости. Полюсами пассивного многоугольника считают все узлы электрической сети; причем, если

встречается регулируемый трансформатор, то он может вводить в схему замещения в виде самостоятельного участка, концы которого также считаются отдельными узлами. Если к каждому-либо узлу не подключены выше упомянутые элементы, то соответствующая вершина многоугольника рассматривается как точка приложения фиктивной (нулевой) нагрузки [3].

Режим электрической системы будем описывать в форме баланса приращений мощностей в узлах. Согласно принятых положительных направлений потоков мощностей (рис.1.1) в установившемся режиме для каждого узла при  $y_i = 0$  справедливы уравнения

$$\Delta P_i = \Delta P_{Gi} - \Delta P_{Hi} \quad (1.1)$$

$$\Delta Q_i = \Delta Q_{Gi} - \Delta Q_{Hi} \quad (1.2)$$

Комплексные величины проводимости записываем в виде

$$\begin{aligned} \underline{y}_{ij} &= y_{ij} \angle -\psi_{ij}, \underline{y}_{ii} = y_{ii} \angle -\psi_{ii}; & y_{ii} \sin \alpha_{ii} &= g_{ii}; \\ \underline{y}_{ij} &= g_{ij} - jb_{ij}; & y_{ii} \cos \alpha_{ii} &= b_{ii}; \end{aligned} \quad g_{ii} = \sum_{j \neq i, j=0}^n g_{ij}, b_{ii} = \sum_{j \neq i, j=0}^n b_{ij}$$

Уравнения сетевых мощностей с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов в ветвях многополюсника для каждого узла  $i$  имеют вид

$$P_i = U_i^2 \sum_{j \neq i}^n g_{ij} k_{Tij}^2 + U_i \sum_{j \neq i}^n U_j y_{ij} k_{Tij} \sin(\delta_i - \delta_j - \nu_{ij} - \alpha_{ij}) \quad (1.3)$$

$$Q_i = U_i^2 \sum_{j \neq i}^n b_{ij} k_{Tij}^2 - U_i \sum_{j \neq i}^n U_j y_{ij} k_{Tij} \cos(\delta_i - \delta_j - \nu_{ij} - \alpha_{ij}) \quad (1.4)$$

Где,  $\alpha_{ij}$  - дополняющий угол  $\psi_{ij}$  (фаза сопротивления)  $\alpha_{ij} = 90^\circ - \psi_{ij}$

В уравнениях (3), (4) напряжения узлов, смежных с узлом  $i$  и проводимости примыкающих к нему ветвей  $y_{ij} = g_{ij} \pm jb_{ij}$ , автоматически приведены к ступени трансформации узла  $i$ , благодаря явному учету коэффициентов трансформации. Это позволяет пользоваться натуральными (неприведенными) параметрами элементов сети и непосредственно рассчитывать натуральные параметры режима. Явный учет коэффициент

трансформации очень важен и по той причине, что трансформатор является одним из элементов управления режимом [3].

Уравнения (1.3), (1.4) написаны в предположении, что модуль коэффициента трансформации определяется в направлении собственно идеального трансформатора. Согласно этому для проводимости ветви, примыкающего к узлу непосредственно (а не через трансформатор), соответствующее  $k_T$  в первых слагаемых уравнений равно единице. Аргумент коэффициента трансформации  $v$  обусловлен наличием устройства для поперечного регулирования напряжения [3].

Для схемы, содержащей  $n$  узлов, должен соблюдаться баланс между числом искомым переменных и числом уравнений, описывающих режим в форме баланса мощностей. Принимая узел с номером  $n$  за балансирующий узел по активной мощности и базисным по напряжению, задаем  $U_n = U_0$  и  $\delta_n = 0$ , и соответственно, для этого узла уравнения (1.3), (1.4) в общей системе уравнений отсутствуют. Если среди оставшихся узлов имеется узел с заданным (известным) модулем напряжения, то он автоматически является вторым балансирующим узлом по реактивной мощности и, следовательно, для этого узла исключаются уравнения по реактивной мощности (1.4). А если узла задается фаза вектора напряжения то исключается уравнение активной мощности (1.3) этого узла[3].

Режим электрической системы определяется не абсолютными углами  $\delta_i$  векторов напряжения, а относительными  $\delta_i - \delta_j$ , что дает свободу выбора оси отсчета углов, которую мы совмещаем с вектором напряжения базисного (балансирующего) узла  $n$ .

Подключенные к узлам многополюсника элементы описываются своими статическими характеристиками.

Уравнения статических характеристик обобщённой нагрузки по напряжению достаточно точно представляются полиномом второй степени:

$$P_{ni} = P_i(U_1) = P_{ном.i} \left( a_0 + a_1 \cdot \frac{U_i}{U_{ном}} + a_2 \cdot \frac{U_i^2}{U_{ном}^2} \right), \quad (1.5)$$

$$Q_{ni} = Q_i(U_i) = Q_{ном.i} \left( b_0 + b_1 \cdot \frac{U_i}{U_{ном}} + b_2 \cdot \frac{U_i^2}{U_{ном}^2} \right) \quad (1.6)$$

Коэффициенты полиномов зависят от состава элементарных нагрузок, их процентного содержания, схемы соединения узла, напряжения, к которому приведена нагрузка и ряд других факторов [3].

Вынужденную слагаемую приращения мощности нагрузки получаем посредством разложения уравнений статических характеристик (1.5), (1.6) в линейный ряд Тейлора.

$$\Delta P_{ni} = \alpha_{ni} \cdot \Delta U_i, \quad \Delta Q_{ni} = \beta_{ni} \cdot \Delta U_i \quad (1.7)$$

где,  $\alpha_{ni} = \frac{dP_{ni}}{dU_i}$ ,  $\beta_{ni} = \frac{dQ_{ni}}{dU_i}$  -называются коэффициентами крутизны статических характеристик активной и реактивной мощности по напряжению.

Коэффициенты крутизны, выраженные в относительных единицах при номинальных условиях нагрузки, принято называть как регулируемыми эффектами [3].

Полное приращение мощности каждого элемента двухполюсника  $i$  можно представить в виде суммы двух слагаемых заданных величин приращения, которые вместе с  $\Delta k_T, \Delta v$  представляют независимые переменные-управляющие и возмущающие воздействия, и приращения, которые носят вынужденный характер и являются функцией вышеуказанных воздействий, изменяясь в соответствии со своими статическими характеристиками. Эти вынужденные составляющие, как было показано, выше, выражаются через  $\Delta P, \Delta U$  и коэффициенты крутизны статических характеристик  $\alpha, \beta$ .

Расчет установившегося режима сводится к нахождению зависимых параметров при заданных независимых на основе их функциональной связи. Для однозначности решения число зависимых параметров должно строго соответствовать числу уравнений [3].

В точке решения должно выполняться указанные равенства. В процессе решения функциональный  $P_{i\Sigma}$  и  $Q_{i\Sigma}$  отличны от нуля и определяют не баланс мощностей, и в том смысле называются функциями небаланса [3].

При принятом балансирующем узла и базисного узла нелинейную систему (5), (6) составим эквивалентную линеаризованную систему в матричной.

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial U_1} & \frac{\partial P}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial P}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial P}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P}{\partial \delta_2} & \vdots & \frac{\partial P}{\partial \delta_{n-1}} \\ \frac{\partial P}{\partial U_1} & \frac{\partial P}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial P}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial P}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P}{\partial \delta_2} & \vdots & \frac{\partial P}{\partial \delta_{n-1}} \\ \dots & \dots & [W_{P_v}] & \dots & \dots & \dots & [W_{P_\delta}] & \dots \\ \frac{\partial P}{\partial U_1} & \frac{\partial P}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial P}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial P}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P}{\partial \delta_2} & \vdots & \frac{\partial P}{\partial \delta_{n-1}} \\ \frac{Q}{\partial U_1} & \frac{Q}{\partial U_2} & \vdots & \frac{Q}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial Q}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q}{\partial \delta_2} & \vdots & \frac{\partial Q}{\partial \delta_{n-1}} \\ \frac{Q}{\partial U_1} & \frac{Q}{\partial U_2} & \vdots & \frac{Q}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial Q}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q}{\partial \delta_2} & \vdots & \frac{\partial Q}{\partial \delta_{n-1}} \\ \dots & \dots & [W_{Q_v}] & \dots & \dots & \dots & [W_{Q_\delta}] & \dots \\ \frac{Q}{\partial U_1} & \frac{Q}{\partial U_2} & \vdots & \frac{Q}{\partial U_{n-1}} & \frac{\partial Q}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q}{\partial \delta_2} & \vdots & \frac{\partial Q}{\partial \delta_{n-1}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_{n-1} \\ \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -P_{1\Sigma} \\ -P_{2\Sigma} \\ \vdots \\ -P_{(n-1)\Sigma} \\ -Q_{1\Sigma} \\ -Q_{2\Sigma} \\ \vdots \\ -Q_{(n-1)\Sigma} \end{pmatrix} \quad (1.8)$$

Элементы матрица Якоби определяются прямым дифференцированием функций (5), (6) по неизвестным переменным.

Производные мощности узла  $i$  по модулю и фазе напряжения этого узла

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_i}{\partial U_i} &= 2U_i g_{ii} + A_i, & \frac{\partial Q_i}{\partial U_i} &= 2U_i b_{ii} - B_i, \\ \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} &= U_i B_i, & \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} &= U_i A_i, \end{aligned} \quad (1.9)$$

$$g_{ii} = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n y_{ij} \sin \alpha_{ij} k_{Tij}^2, \quad b_{ii} = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n y_{ij} \cos \alpha_{ij} k_{Tij}^2$$

$$A_i = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n U_j y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) k_{Tij}; \quad B_i = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n U_j y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) k_{Tij}$$

Производные мощности узла  $i$  по модулю и фазе напряжения смежных с ним узлов  $j = 1, 2, \dots, n (j \neq i)$

$$\frac{\partial P_i}{\partial U_j} = C_i, \quad \frac{\partial Q_i}{\partial U_j} = D_i, \quad \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = U_j D_i, \quad \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -U_j C_i \quad (1.10)$$

$$C_i = U_i y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) k_{Tij}, \quad D_i = -U_i y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) k_{Tij}$$

Коэффициент трансформации

$$k_{Tij} = U_i / U_j$$

В качестве стартовых значений искомым параметров при расчетах режимов обычно принимают

$$U_i = U_{iном}, \quad \delta_i = 0$$

(1.11)

Далее на каждом шаге итерации решение систем уравнений (8) дает поправки искомым переменных, что позволяет уточнить значение самых переменных:

$$U_i^{(k+1)} = U_i^{(k)} + \Delta U_i^{(k)}, \quad \delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)}$$

(1.12)

Отметим, что значения  $\Delta \delta$  измеряется в радианах.

После определенного числа итерации процесс заканчивается и выдается результат в допустимом погрешности в зависимости от числа итерации.

## **2. Электронная модель исследуемого объекта и расчеты установившихся режимов**

### **2.1 Сбор и подготовка исходных данных для схемы электроснабжения Парабельского энергоузла.**

В данной работе рассматриваем Парабельский энергоузел, который является частью Томской энергосистемы. Основным источником питания данного узла является станция Парабель с номинальным напряжением 220 кВ. Переход с шин 220 кВ на 110 кВ осуществляется с помощью трех автотрансформаторов. На шинах 110 кВ установлен шунтирующий реактор, который находится в отключенном состоянии. Станция Парабель осуществляет питание газоконденсационную станцию КС-2. Парабель также запитывает станцию Лугинецкая по двух цепной ВЛ-110 кВ. На Лугинецкой станции происходит трансформация напряжения со 110 кВ на 35 кВ и на 6 кВ. От Парабелы отходят ЛЭП протяженностью 177 км на станцию Лугинецкая, с этой линии отходят отпайки на подстанцию Тарская.

От станции Лугинецкая запитываются подстанции в трех направлениях:

- 1) Лугинецкая – Останинская, соединяются ЛЭП протяженностью 56,26 км.  
Лугинецкая – Калиновая, соединяются ЛЭП протяженностью 86,2 км.
- 2) Лугинецкая – Мыльджино, соединяются ЛЭП протяженностью 77,8 км.  
На Мыльджино установлены 2 генератора, которые подпитывают подстанцию.
- 3) Лугинецкая – Игольская, соединяются ЛЭП протяженностью 163,5 км. На данной подстанции установлены 6 генератора.

От Игольской отходят ЛЭП протяженностью 68,6 км на подстанцию Крапивинская. От Крапивинской на расстоянии 19 км находится подстанция Двуреченская. От линии между подстанциями Крапивинская и Двуреченская отходят отпайки на подстанцию З.Моисеевская. Всего в схему входит 11 подстанций. Исследуемая схема представлена на рисунке 1

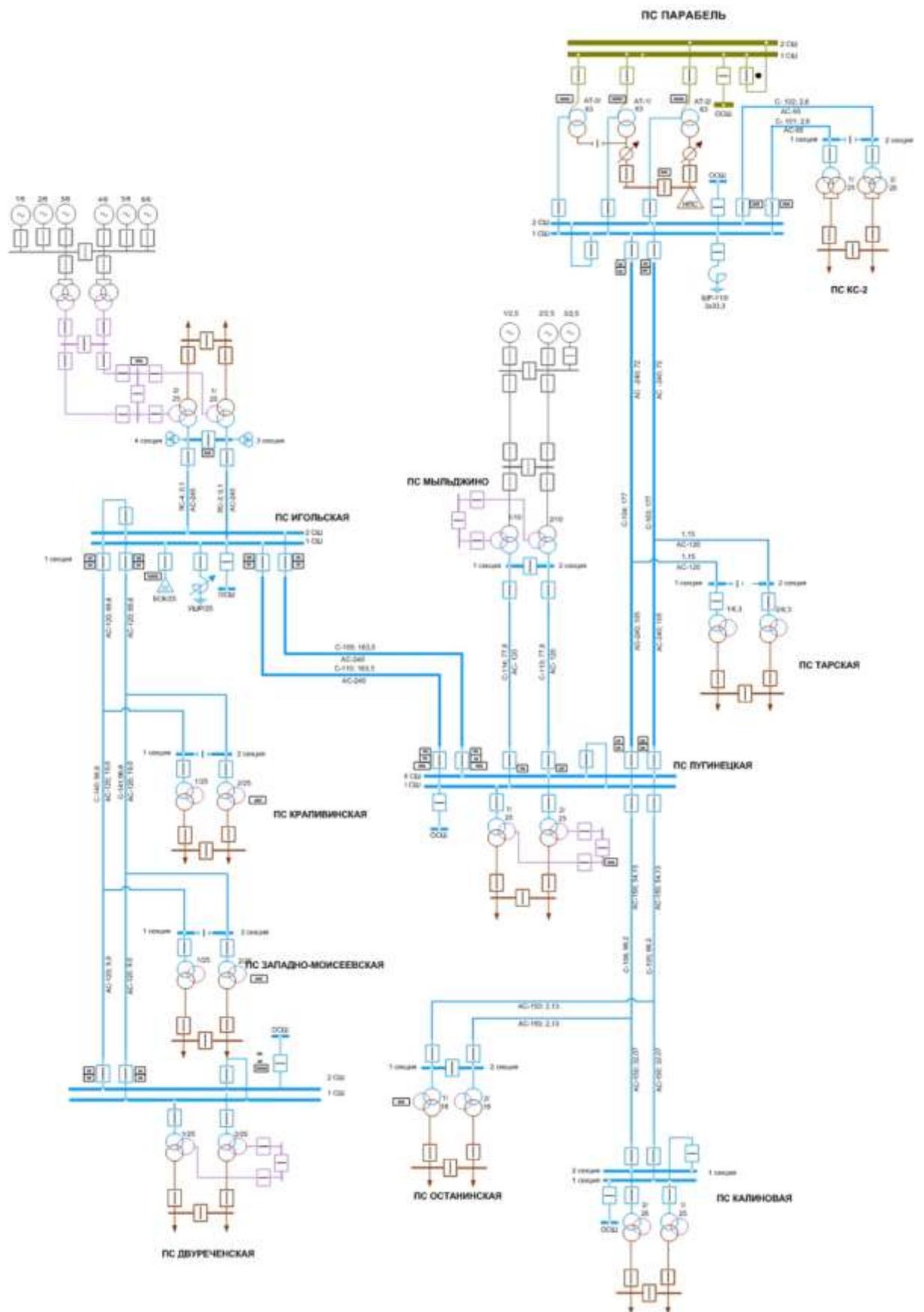


Рис.2.1 Принципиальная схема исследуемой сети.

В качестве исходных данных принимаем данные, приведённые на принципиальной схеме Парабельского энергоузла, представленной на рисунке 2. Используемые данные для дальнейшего расчета приведены в таблице 1, а также в приложении А, таблице А.1:

Таблица 2.1 – Параметры трансформатора с расщепленной обмоткой.

Подстанция	Тип	Sном, МВА	Пределы регулиру- вания	Каталожные данные					
				Uном обмоток, кВ		Rт, Ом	Xт, Ом	ΔPх х, кВт	ΔQх х, кВар
				ВН	НН				
КС-2 110/10 кВ	2хТРДН- 25000/110	25	±2×2,5%	115	10,5	2,54	55,9	27	175

Таблица 2.2– Параметры трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов

Подстанция	Количество и тип трансформа- торов	Sn ом, М ВА	Пределы регулиру- вания	Каталожные данные								
				Xт, Ом			Uном обмоток, кВ			Rт, Ом		
				В Н	С Н	Н Н	В Н	СН Н	Н Н	В Н	С Н	Н Н
Калиновая	2хТДТН- 25000/110	25	±2×2,5%	56,9	0	35,7	11 5	38, 5	6, 6	1, 5	1, 5	1, 5
Останинская	2хТДТН- 16000/110	16	±2×2,5%	88,9	0	52	11 5	38, 5	11	2, 6	2, 6	2, 6
Двуреченская	2х ТДТН- 25000/110	25	±2×2,5%	56,9	0	35,7	11 5	38, 5	6, 6	1, 5	1, 5	1, 5
3.Моисеевска я	2х ТДТН- 25000/110	25	±2×2,5%	56,9	0	35,7	11 5	38, 5	6, 6	1, 5	1, 5	1, 5

Продолжение таблицы 2.2

Крапивинская	2х ТДТН-25000/110	25	±2×2,5%	56,9	0	35,7	115	38,5	6,6	1,5	1,5	1,5
Игольская	2х ТДТН-25000/110	25	±2×2,5%	56,9	0	35,7	115	38,5	6,6	1,5	1,5	1,5
Тарская	2х ТМТН-6300/110	6,3	±9×1,78%	225,7	0	131,2	115	38,5	11	9,7	9,7	9,7
Лугинецкая	2х ТДТН-25000/110	25	±2×2,5%	56,9	0	35,7	115	38,5	6,6	1,5	1,5	1,5
Мыльджино	2х ТДТН-10000/110	10	±2×2,5%	142,2	0	82,7	115	38,5	6,6	5	5	5
Парабель	2хАТДЦТН - 63000/220/10	63	±6×2%	104	0	195,6	230	121	11	1,4	1,4	2,8

Таблица 2.3 – Мощность нагрузок подстанций

Название подстанции		Pmax, МВт	Qmax, МВар
Парабель (1,2)		19,3	15,540
КС -2(1,2)		2,1	0,9
Тарская (1,2)		0,2	0,1
Мыльджино (1,2)		0,775	0,480
Игольская (1,2)		-3,5	0,61
Лугинецкая	Сторона 35 кВ	8,61	3,02
	Сторона 35 кВ	2,08	0,42
	Сторона 6 кВ(1,2)	0,75	0,3
Останинская	Сторона 35 кВ (1)	2,4	1
	Сторона 6 кВ	0,8	0,3
	Сторона 35 кВ(2)	2,4	1
	Сторона 6 кВ	0,8	0,3
Калиновая	Сторона 35 кВ	1,2	0,5
	Сторона 35 кВ	0,8	0,03
	Сторона 6 кВ	0,1	0,04
	Сторона 6 кВ	0,07	0,03
Крапивинская	Сторона 35 кВ(1,2)	1,86	1,01
	Сторона 6 кВ (1,2)	0,76	0,42
Западно-Маисеевска	Сторона 35 кВ(1,2)	0,93	0,65
	Сторона 6 кВ (1,2)	0,71	0,42
Двуреченская	Сторона 35 кВ(1,2)	5,000	3,100
	Сторона 6 кВ (1,2)	1,180	0,731

## 2.2. Подготовка электронной модели схемы Парабельского энергоузла

Для расчета режимов в данной работе используется программный комплекс RastrWin3. Прежде чем начать работу с помощью данного программного комплекса необходимо изначально подготовить исходные данные для расчета.

При учете линий электропередач, используемые параметры рассчитываются согласно следующим формулам:

$$R = r_0 \cdot l, \text{ Ом}, \quad X = x_0 \cdot l, \text{ Ом}, \quad B = b_0 \cdot l, \text{ мкСм} \quad (2.1)$$

где  $r_0, x_0, b_0$  погонные параметры провода ЛЭП.

Рассчитанные параметры ЛЭП приведены в приложении Б, а именно в таблице Б.2. Погонные параметры были взяты из справочных материалов[2].

Учет параметров трансформаторов также был основан на справочных данных[2], эти параметры представлены в таблице 2.2.

Также будет произведен учет располагаемой генерации на подстанциях Мыльджино и Игольская. В таблице 2.4 приведено конкретное количество используемой мощности.

Таблица 2.4 – Располагаемая мощность генерации подстанций

Подстанция, с установленными генераторами	Установленная мощность подстанции, МВт	Номинальная мощность одного генератора, МВт	Количество Генераторов, шт
Игольская	36	6	6
Мыльджино	5	2,5	2

В результате вышеперечисленные исходных данных позволяют корректно отразить рассчитываемый энергоузел и провести расчет в программном комплексе.

## 2.3 Расчеты максимального и минимального установившихся режимов и введение параметров режимов в допустимую область

Для сети, представленной на рисунке 2, необходимо провести расчеты максимального и минимального режимов работы с введением параметров в

допустимую область.

Допустимым отклонением напряжения на шинах потребителя в большую или меньшую сторону представлено в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Нормируемые значения качества электроэнергии

Показатель качества	Значения показателя
Нормально допустимое отклонение напряжения	5% от $U_{ном}$
Предельно допустимое отклонение напряжения	10% от $U_{ном}$
Нормально допустимое отклонение частоты	$\pm 0,2$ Гц
Предельно допустимое отклонение частоты	$\pm 0,4$ Гц

### Расчет режима максимальных нагрузок

Для определения значения мощности нагрузки подстанций были определены численные значения активной мощности максимума подстанций по номинальным полным мощностям трансформаторов[6]

$$P_{max} = S_{Тном} \cdot k_{пер} \cdot \cos \varphi \cdot (n - 1) \quad (2.2)$$

Для расчета максимального режима принимаем мощность нагрузки равную 15% от найденной максимальной, как для трехобмоточных трансформаторов, так и для автотрансформаторов. Такое учет принят в связи с большим количеством нагрузок отходящих от шин подстанций. И с ограниченным количеством имеющейся генерации.

Расчет производим в программе RastrWin. За балансирующий узел принимается узел питания схемы – шины Парабельской станции.

В результате расчета регулирование с помощью РПН или с помощью других каких-либо средств не потребовалось, т.к. отклонения напряжения оказались в допустимых пределах. Полученные результаты расчета представлены в таблице 1.6.

Таблица 2.6– Значения напряжений в узлах схемы при максимальном режиме и допустимые пределы отклонения напряжение.

Название подстанции	U, кВ	U <sub>min</sub> , кВ	U <sub>max</sub> , кВ
Парабель-220	241,00	198	242
Парабель-110	113,72	99	121
Парабель-10	10,84	9	11
КС-2-110	113,68	99	121
КС-2-10	10,31	9	11
Тарская-110	113,86	99	121
Тарская-10	10,07	9	11
Лугинецкая-110	111,05	99	121
Лугинецкая-35	35,92	31,5	38,5
Лугинецкая-6	6,32	5,4	6,6
Калиновая 110	112,16	99	121
Калиновая 35	37,45	31,5	38,5
Калиновая 6	6,39	5,4	6,6
Останинская 110	111,27	99	121
Останинская 35	36,01	31,5	38,5
Останинская 6	6,49	5,4	6,6
Мыльджино-110	105,96	99	121
Мыльджино-6	6,6	5,4	6,6
Игольская 110	111,48	99	121
Игольская 35	36,87	31,5	38,5
Игольская 6	6,51	5,4	6,6
Крапивинская 110	107,74	99	121
Крапивинская 6	6,42	5,4	6,6
З.Моисеевская 110	107,35	99	121
З.Моисеевская 6	6,39	5,4	6,6
Двуреченская 110	105,48	99	121
Двуреченская 6	6,27	5,4	6,6

### Расчет режима минимальных нагрузок

В режиме минимальных нагрузок значения нагрузки принимаются равными половине от максимальных:

$$P_{\min} = 0,5 \cdot P_{\max}$$

Результаты расчета представлены в таблице 2.7. Анализируя результаты расчета, мы видим, что на подстанциях Тарская и КС-2 отклонения напряжения вышли за пределы допустимых.

Таблица 2.7– Значения напряжений в узлах схемы при минимальном режиме и допустимые пределы отклонения напряжения.

Название подстанции	U, кВ	U <sub>min</sub> , кВ	U <sub>max</sub> , кВ
Парабель-220	220,00	198	242
Парабель-110	117,23	99	121
Парабель-10	10,46	9,0	11
КС-2-110	117,21	99	121
КС-2-10	11,02	9,0	11
Тарская-110	113,4	99	121
Тарская-10	11,13	9,0	11
Лугинецкая-110	108,17	99	121
Лугинецкая-35	35,52	31,5	38,5
Лугинецкая-6	6,2	5,4	6,6
Калиновая 110	107,36	99	121
Калиновая 35	36,44	31,5	38,5
Калиновая 6	6,15	5,4	6,6
Останинская 110	107,61	99	121
Останинская 35	36,01	31,5	38,5
Останинская 10	10,27	9,0	11
Мыльджино-110	106,86	99	121
Мыльджино-6	6,0	5,4	6,6
Игольская 110	104,85	99	121
Игольская 35	35,19	31,5	38,5
Игольская 6	6,0	5,4	6,6
Крапивинская 110	104,06	99	121

Продолжение таблицы 2.7

Крапивинская 6	5,96	5,4	6,6
З.Моисеевская 110	103,73	99	121
З.Моисеевская 6	5,94	5,4	6,6
Двуреченская 110	103,64	99	121
Двуреченская 6	5,94	5,4	6,6

После чего было произведено регулирование с помощью РПН на подстанциях КС-2 и Тарская. В результате чего получили желаемые значения напряжения. На подстанции КС-2 переключении произведено на отпайку +1, а на подстанции Тарская на отпайку +2. Полученные результаты представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8—Значения напряжений в узлах схемы при минимальном режиме и допустимые пределы отклонения напряжение

Название подстанции	U, кВ	U <sub>min</sub> , кВ	U <sub>max</sub> , кВ
Парабель-220	241,7	198	242
Парабель-110	117,25	99	121
Парабель-10	10,46	9,0	11
КС-2-110	117,24	99	121
КС-2-10	10,44	9,0	11
Тарская-110	113,42	99	121
Тарская-10	10,46	9,0	11
Лугинецкая-110	108,18	99	121
Лугинецкая-6	6,2	5,4	6,6
Калиновая 110	107,37	99	121
Калиновая 6	6,15	5,4	6,6
Останинская 110	107,61	99	121

## Продолжение таблицы 2.8

Останинская 10	10,27	9,0	11
Мыльджино-110	106,87	99	121
Мыльджино-б	6,0	5,4	6,6
Игольская 110	104,85	99	121
Игольская 35	35,19	31,5	38,5
Игольская б	6,0	5,4	6,6
Крапивинская 110	104,07	99	121
Крапивинская б	5,96	5,4	6,6
З.Моисеевская 110	103,73	99	121
З.Моисеевская б	5,94	5,4	6,6
Двуреченская 110	103,65	99	121
Двуреченская б	5,94	5,4	6,6

### **3. Эквивалентирование Парабельского энергоузла и расчет параметров эквивалентов**

#### **3.1. Математическая модель эквивалентирования подсистем обобщенными статическими характеристиками.**

Коэффициент крутизны и регулирующие эффект нагрузки и генераторов широко используются в расчетах режимов электрической системы. Практический интерес представляет понятие статических характеристик и коэффициент крутизны не только отдельных элементов энергосистем, но и из сложных совокупностей, образующих подсистему. Обобщенные статические характеристики и их коэффициенты крутизны дают эквивалентную информацию о состоянии подсистем и их поведении. В зависимости от условий, принятых при эквивалентирование подсистем следует различать два вида обобщенных статических характеристик. К первому виду будем относить статические характеристики подсистем, в которой отсутствуют балансирующие узлы по активной мощности. Подсистемы, содержащие узлы балансирования

активной мощности, эквивалентироваться статическими характеристиками второго вида[3].

В работах [1,3,4] разработаны методы эквивалентирования промежуточных подсистем, используя режимные параметры. В данной работе будем проводить эквивалентирование подсистемы, которая не содержит балансирующие узлы по активной мощности. Поэтому в этом разделе приводим результаты исследования, которые показываються в вышеупомянутых работах.

Обратимся к подсистеме без балансирующих узлов по активной мощности. Сложную электрическую систему естественным путем можно разбить на подсистемы. Для упрощения условимся часть системы, которая имеет связь с основной или смежной частью в единственном узле  $i$ , называть ограниченной частью. Предположим, что в некотором исходном установившемся режиме в основной части возникло стационарное возмущение, которое привело к изменению модуля  $\Delta U_i$  и фазы  $\Delta \delta_i$  напряжения узла, к которому примыкает подсистема. При этом в подсистеме остаются неизменными: схема сети, состав оборудования (включая потребители), коэффициент трансформации, уставка первичных и вторичных регулировании (т.е. неизменность активной и реактивной мощности источников). Под действием приложенного возмущения  $\Delta U_i$  ( $\Delta U_i = const$ ) произойдет деформация параметров режима подсистемы. При этом активная мощность источников питания остается неизменной, а мощность нагрузочных узлов (в соответствии со статическими характеристиками) и потери в элементах сети изменятся. В подсистеме образуется небаланс ( $\Delta S_{нг}$ ), который устремится к узлу  $i$ . В результате этого новый режим ветви  $l$  через которую ограниченная подсистема примыкает к основной в узле  $i$ , будет отличаться от исходного приращением обменной активной и реактивной мощности, равной мощности небаланса. Если генераторы рассматриваемой подсистемы не имеют автоматического регулирования турбин по отклонению абсолютных и

взаимных углов, то при стационарном приращении фазы  $\Delta\delta_i (\Delta U_i = const)$  подсистема движется как единое целое относительно синхронной оси узла  $i$ . При этом векторы напряжений и оси роторов электрических машин сместятся на такой же угол, как и приращение фазы в общем узле  $i$ . Относительные углы векторов напряжений подсистемы остаются неизменными неизменным остается и ее режим, что свидетельствует об отсутствии реакции со стороны подсистем на указанной возмущение  $\Delta\delta_i$  [3].

Таким образом, реакция со стороны подсистемы в виде  $\Delta P_i, \Delta Q_i$  на возмущение со стороны основной части проявляется только вследствие изменения модуля напряжения в узле замыкания  $\Delta U_i$ . Так как ограниченная подсистема имеет единственную связи с основной частью, функциональные зависимости активной и реактивной мощностей ветви замыкания от модуля напряжения в общем узле  $i$  являются полным режимным эквивалентом ограниченной подсистемы

$$P_{ic} = P(U_i), Q_{ic} = Q(U_i) \quad (3.1)$$

Под обобщенными статическими характеристиками реакции подсистемы относительно некоторой расчетной точки  $i$  подразумевается зависимости генераторов, описывающих реакцию этой части системы в установившемся режиме в функции приложенного в расчетной точке стационарного возмущения, источник которого находится вне рассматриваемой части подсистемы. При этом в подсистеме должны соблюдаться ранее перечисленные условия.

При заданном исходном режиме обобщенные статические характеристики первого вида находятся путем расчета ряда установившихся режимов эквивалентруемой подсистемы при вариации модуля и неизменности фазы напряжения узла эквивалентирования. При этом узел эквивалентирования принимается за балансирующий по активной и реактивной мощности. Результаты расчета позволяют представить статические характеристики полиномами, в частности полиномами второй степени [3]

$$\begin{aligned}
 Q_{ic} &= Q_{0i} + b_1(U_i - U_{0i}) + b_2(U_i - U_{0i})^2 \\
 P_{ic} &= P_{0i} + a_1(U_i - U_{0i}) + a_2(U_i - U_{0i})^2
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

где  $P_{0i}, Q_{0i}, U_{0i}$  - параметры некоторого исходного режима.

Коэффициент полиномов находится решением линейной системы уравнений, составленных по результатам двух, дополнительных к исходному режимному состоянию [3].

$$\begin{aligned}
 b_1(U_1^{(1)} - U_{0i}) + b_2(U_1^{(1)} - U_{0i})^2 &= Q_{ic}^{(1)} - Q_{0i} \\
 b_1(U_1^{(2)} - U_{0i}) + b_2(U_1^{(2)} - U_{0i})^2 &= Q_{ic}^{(2)} - Q_{0i}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

Коэффициенты  $a_1, a_2$  определяются из аналогичной системы уравнений.

Отметим, что практически в ряде случаев условия неизменности состава оборудования, уставок регуляторов и схемы сети, для которых данная статическая характеристика остается справедливой, должны соблюдаться лишь в «зоне влияния» режима узла эквивалентирования, которая часто может быть ограничена непосредственно примыкающими к указанному узлу участками сети. Неизменность состава оборудования потребителей следует понимать в смысле неизменности их суммарных усредненных характеристик в режиме, для которого определялась данная статическая характеристика [3].

## Математическая модель эквивалентирования подсистем активными четырехполюсниками

Метод расчет эквивалентных частей системы, представленных двухполюсником(рис.3).

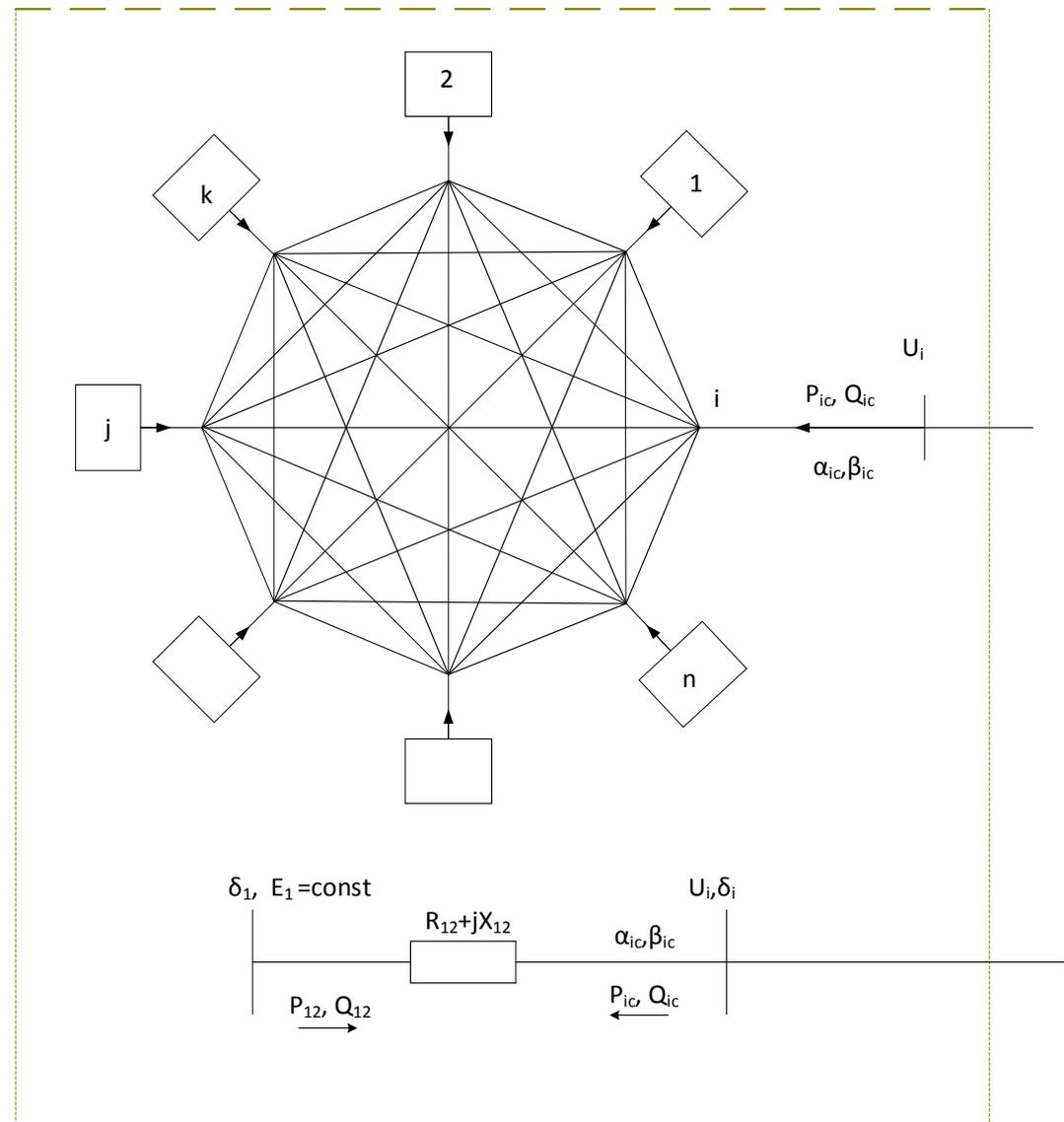


Рис. 3.1 Схема для расчета параметров эквивалентной схемы замещения

Рассмотрим расчет коэффициентов  $\alpha_{ic}, \beta_{ic}$  на базе уравнений приращений мощностей. Согласно определению статических характеристик, возмущение  $\Delta U_i$  вызывает реакцию  $\Delta P_{ic}, \Delta Q_{ic}$ . Величина возмущения и реакции находится во взаимно однозначном соответствии благодаря функциональной связи. Это позволяет поменять ролями возмущение и реакцию, прикладывая к узлу возмущение  $\Delta P_{ic}$ , получим реакцию  $\Delta U_i$  и  $\Delta Q_{ic}$ , значения которых равны

соответствующим величинам первого опыта. Аналогично, создавая возмущение  $\Delta Q_{ic}$ , имеем реакцию  $\Delta U_i$  и  $\Delta P_{ic}$ . Для расчета  $\beta_{ic}$ , полагая, что к узлу  $i$  прикладывается возмущение  $\Delta Q_{ic}$  при закреплённой фазе вектора напряжения в узле эквивалентирования  $i$  ( $\delta_i = const$ ), который является одновременно балансирующим по активной мощности, получаем уравнения приращения (19). Поскольку источником возмущения является приложенный к узлу  $i$  «небаланс», то в матрице  $W_\beta$  коэффициенты  $\alpha_i, \beta_i$  равны нулю. Элементы столбца  $n+i$  (коэффициенты при балансирующей мощности  $\Delta P_{bal} = \Delta P_{ic}$ ) равный нулю за исключением  $a_{i,n+i} = -1$ . Решим уравнение (3.4) методом Крамера относительно  $\Delta U_i$  [3]

$$\Delta U_i = \frac{A_{\beta(n+i,i)}}{D_\beta} \Delta Q_{ic} \quad (3.4)$$

из которого находим интересующий коэффициент  $\beta_{ic} = \frac{dQ_{ic}}{dU_i} = \frac{D_\beta}{A_{\beta(n+i,i)}}$

где,  $D_\beta$  - определитель, а  $A_{\beta(n+i,i)}$  - алгебраическое дополнение матриц  $W_\beta$  (первый индекс – номер строки, второй индекс – номер столбца)

$$\begin{bmatrix}
\frac{\partial P_1}{\partial U_1} - \alpha_1 & \frac{\partial P_1}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial P_1}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial P_1}{\partial U_n} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_n} \\
\frac{\partial P_2}{\partial U_1} & \frac{\partial P_2}{\partial U_2} - \alpha_2 & \vdots & \frac{\partial P_2}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial P_2}{\partial U_n} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} \\
\cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots \\
\frac{\partial P_i}{\partial U_1} & \frac{\partial P_i}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial P_i}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial P_i}{\partial U_n} & \frac{\partial P_i}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_i}{\partial \delta_2} & \vdots & -1 & \vdots & \frac{\partial P_i}{\partial \delta_n} \\
\cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots \\
\frac{\partial P_n}{\partial U_1} & \frac{\partial P_n}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial P_n}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial P_n}{\partial U_n} - \alpha_n & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
\Delta U_1 \\
\Delta U_2 \\
\cdots \\
\Delta U_i \\
\cdots \\
\Delta U_n
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
0 \\
0 \\
\cdots \\
0 \\
\cdots \\
0
\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
\frac{\partial Q_1}{\partial U_1} - \beta_1 & \frac{\partial Q_1}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial Q_1}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial Q_1}{\partial U_n} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_n} \\
\frac{\partial Q_2}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial U_2} - \beta_2 & \vdots & \frac{\partial Q_2}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial Q_2}{\partial U_n} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} \\
\cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots \\
\frac{\partial Q_i}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_i}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial Q_i}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial Q_i}{\partial U_n} & \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n} \\
\cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots \\
\frac{\partial Q_n}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial Q_n}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial Q_n}{\partial U_n} - \beta_n & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
\Delta \delta_1 \\
\Delta \delta_2 \\
\cdots \\
\Delta P_{ic} \\
\cdots \\
\Delta \delta_n
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
0 \\
0 \\
\cdots \\
\Delta Q_{ic} \\
\cdots \\
0
\end{bmatrix}$$

$[W_\beta]$

(3.5)

Расчет коэффициент  $\alpha_{ic}$  Аналогично предыдущему, считая, что к узлу  $i$  прикладывается возмущение  $\Delta P_{ic}$  при закреплённой фазе вектора напряжения в узле эквивалентирования  $i$  ( $\delta_i = const$ ), который является одновременно балансирующим по активной мощности, получаем уравнения приращения (21). Элементами столбца  $n+i$  являются коэффициенты при балансирующей мощности  $\Delta Q_{\text{bal}} = \Delta Q_{ic}$ , равный нулю за исключением  $a_{n+i,n+i} = -1$ . Решим уравнение (3.6) относительно  $\Delta U_i$

$$\Delta U_i = \frac{A_{\alpha(i,i)}}{D_\alpha} \Delta P_{ic}$$

(3.6)

из которого находим интересующий коэффициент  $\alpha_{ic} = \frac{dP_{ic}}{dU_i} = \frac{D_\alpha}{A_{\alpha(i,i)}}$

где,  $D_\alpha$  - определитель, а  $A_{\alpha(i,i)}$  - алгебраическое дополнение матриц  $W_\alpha$  (первый индекс – номер строки, второй индекс – номер столбца). Причем  $A_{\alpha(i,i)} = \pm A_{\beta(n+i,i)}$ .

Подсистему, имеющую несколько общих узлов с основной частью, можно искусственным путем разделить на ряд ограниченных по числу примыканий. Для этого необходимо в выделенной подсистеме разомкнуть ветви в узлах, в которых осуществляется жесткое регулирование напряжения, сохраняя прежние значения параметров на концах разомкнутых ветвей. Причем разрезание узлов в наиболее удаленных точках от узла эквивалентирования можно допустить и при нарушении условия неизменности напряжения. Основанием для этого может служить то обстоятельство, что статические характеристики и коэффициенты крутизны определяются, в основном, элементами и участками системы, расположенными наиболее близко к узлу эквивалентирования[3].

$$\begin{bmatrix}
\frac{\partial P_1}{\partial U_1} - \alpha_1 & \frac{\partial P_1}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial P_1}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial P_1}{\partial U_n} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_n} \\
\frac{\partial P_2}{\partial U_1} & \frac{\partial P_2}{\partial U_2} - \alpha_2 & \vdots & \frac{\partial P_2}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial P_2}{\partial U_n} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} \\
\cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots \\
\frac{\partial P_i}{\partial U_1} & \frac{\partial P_i}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial P_i}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial P_i}{\partial U_n} & \frac{\partial P_i}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_i}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial P_i}{\partial \delta_n} \\
\cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots \\
\frac{\partial P_n}{\partial U_1} & \frac{\partial P_n}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial P_n}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial P_n}{\partial U_n} - \alpha_n & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
\Delta U_1 \\
\Delta U_2 \\
\cdots \\
\Delta U_i \\
\cdots \\
\Delta U_n
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
0 \\
0 \\
\cdots \\
\Delta P_{ic} \\
\cdots \\
0
\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
\frac{\partial Q_1}{\partial U_1} - \beta_1 & \frac{\partial Q_1}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial Q_1}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial Q_1}{\partial U_n} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_n} \\
\frac{\partial Q_2}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial U_2} - \beta_2 & \vdots & \frac{\partial Q_2}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial Q_2}{\partial U_n} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} \\
\cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots \\
\frac{\partial Q_i}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_i}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial Q_i}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial Q_i}{\partial U_n} & \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_2} & \vdots & -1 & \vdots & \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n} \\
\cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots \\
\frac{\partial Q_n}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial U_2} & \vdots & \frac{\partial Q_n}{\partial U_i} & \vdots & \frac{\partial Q_n}{\partial U_n} - \beta_n & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \vdots & 0 & \vdots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
\Delta \delta_1 \\
\Delta \delta_2 \\
\cdots \\
\Delta Q_{ic} \\
\cdots \\
\Delta \delta_n
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
0 \\
0 \\
\cdots \\
0 \\
\cdots \\
0
\end{bmatrix}$$

$[W_\beta]$

(3.7)

Второй способ эквивалентирования подсистем, который также, как и первый, основан на использовании параметров нормального режима и значений реакции. Этот способ решается методом наименьших квадратов.

При переводе значений мощности в относительные единицы определяют первое приближение своего значения базисной мощности  $P_{БАЗ(i)}$  и  $Q_{БАЗ(i)}$  для каждой пары измерений, аппроксимируют полученные значения напряжения и мощности в относительных единицах полиномом.

Далее полученные значений  $U_1(i)$  и  $U_2(i)$ ,  $P_1(i)$  и  $P_2(i)$  используют формулы:

$$P_{*(i)} = \frac{P(i)}{P_{БАЗ}}, \quad Q_{*(i)} = \frac{Q(i)}{Q_{БАЗ}}, \quad (3.8)$$

$$U_{*(i)} = \frac{U(i)}{U_{БАЗ}} \quad (3.9)$$

Причем для перевода всех измеренных значений напряжения в относительные единицы, используют одно и то же неизменное значение базисного напряжения.

$$\begin{aligned} P_*(U_*) &= a_0 + a_1 \cdot U_* + a_2 \cdot U_*^2 \\ Q_*(U_*) &= b_0 + b_1 \cdot U_* + b_2 \cdot U_*^2 \end{aligned} \quad (3.10)$$

причем коэффициенты  $a_0, a_1, a_2$  определяют методом наименьших квадратов по зависимостям

$$\begin{aligned} P_{*1} &= a_0 + a_1 \cdot U_{*1} + a_2 \cdot U_{*1}^2 \\ P_{*2} &= a_0 + a_1 \cdot U_{*2} + a_2 \cdot U_{*2}^2 \\ &\dots \\ P_{*(i)} &= a_0 + a_1 \cdot U_{*(i)} + a_2 \cdot U_{*(i)}^2 \\ Q_{*1} &= a_0 + a_1 \cdot U_{*1} + a_2 \cdot U_{*1}^2 \\ Q_{*2} &= a_0 + a_1 \cdot U_{*2} + a_2 \cdot U_{*2}^2 \\ &\dots \\ Q_{*(i)} &= a_0 + a_1 \cdot U_{*(i)} + a_2 \cdot U_{*(i)}^2 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Для решения уравнений (3.11) с тремя неизвестными введем обозначения

$$\begin{aligned} S_R &= U_{*0}^R + U_{*1}^R + \dots + U_{*n}^R \\ t_p &= U_{*0}^0 P_{*0} + U_{*1}^1 P_{*1} + U_{*3}^2 P_{*3} \\ t_q &= U_{*0}^0 Q_{*0} + U_{*1}^1 Q_{*1} + U_{*3}^2 Q_{*3} \end{aligned} \quad (3.12)$$

где ( $R = 0, 1, 2, \dots, m$ )

Составим систему и введем в нее новые обозначения

$$\begin{aligned} a_0 S_0 + a_1 S_1 + a_2 S_2 &= t_0 \\ a_0 S_1 + a_1 S_2 + a_2 S_3 &= t_1 \\ a_0 S_2 + a_1 S_3 + a_2 S_4 &= t_2 \end{aligned} \quad (3.13)$$

Из полученной системы находим коэффициенты  $a_0, a_1, a_2$ .

Принимают в качестве искомой статической характеристикой нагрузки по напряжению полином с коэффициентами  $a_0, a_1, a_2$ , соответствующими минимальному среднеквадратическому отклонению.

Найденный эквивалент совершенно строго отражает свойства подсистемы для того режимного состояния энергосистемы, по параметрам которого он рассчитан.

### **3.3. Расчет параметры эквивалентов в виде обобщенных статических характеристик энергоузла и активного четырехполюсника**

#### **3.3.1 Расчет параметров эквивалента в виде активного четырехполюсника**

Изначально для того чтобы найти параметры эквивалента исследуемой сети, принимаем постоянными параметры:

$$U_9 = 6,3 \text{ кВ} = \text{const}$$

$$U_{12} = 6,3 \text{ кВ} = \text{const}$$

$$P_{12} = 36 \text{ МВт} = \text{const}$$

$$P_9 = 5 \text{ МВт} = \text{const}$$

$$k_{1-2} = 1,9 = const$$

$$k_{8-9} = 17,424 = const$$

$$k_{11-12} = 17,424 = const$$

Балансирующим узлом по активной и реактивной мощности считаем узел номер 1. При изменении напряжения от  $0,9U_{ном}$  до  $1,1U_{ном}$  в данном узле были рассчитаны установившиеся режимы в программном комплексе RastrWin, полученные результаты представлены в таблице 8.

Значения коэффициентов крутизны  $\beta_1$  и  $\alpha_1$  можно найти методом численного дифференцирования. Для этого используем результаты двух режимных состояний 2 и 4, соседних с рассматриваемым 3.

$$\beta_1 = \frac{Q_1^{(4)} - Q_1^{(2)}}{U_1^{(4)} - U_1^{(2)}} = \frac{4,9 - 3,3}{212 - 202} = 0,16$$

$$\alpha_1 = \frac{P_1^{(4)} - P_1^{(2)}}{U_1^{(4)} - U_1^{(2)}} = \frac{44,2 - 44,1}{212 - 202} = 0,01$$

Затем произведем расчет параметров эквивалентной схемы

$$\begin{aligned} \sin \gamma_1 &= \frac{\beta_1 Q_1 + \alpha_1 P_1 - I_1^2 U_1 - 0,5 U_1 \alpha_1^2}{A} = \\ &= \frac{0,16 \cdot 4,0 + 0,01 \cdot 44,1 - 0,046^2 \cdot 207 - 0,5 \cdot 207 \cdot 0,01^2}{0,654} = 0,834 \end{aligned}$$

$$\cos \gamma_1 = \frac{0,5 U_1 \alpha_1 \beta_1}{A} = \frac{0,5 \cdot 207 \cdot 0,01 \cdot 0,16}{0,654} = 0,253$$

$$\gamma_1 = 86,568^\circ$$

Где,

$$I_1^2 = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} = \frac{44,1^2 + 4,0^2}{207^2} = 0,046$$

$$\begin{aligned} A &= \sqrt{[\beta_1 Q_1 + \alpha_1 P_1 - I_1^2 U_1 - 0,5 U_1 \alpha_1^2]^2 + [0,5 U_1 \alpha_1 \beta_1]^2} = \\ &= \sqrt{[0,16 \cdot 4,0 + 0,01 \cdot 44,1 - 0,046^2 \cdot 207 - 103,5 \cdot 0,01^2]^2 + [103,5 \cdot 0,01 \cdot 0,16]^2} = 0,654 \end{aligned}$$

Находим аргумент проводимости ( $\alpha_{1-2}$ )

$$\sin(2\alpha_{1-2} + \gamma_1) = \frac{\beta_1 Q_1 + \alpha_1 P_1 - I_1^2 U_1}{A} = 0,998$$

$$\alpha_{1-2} = \frac{\arcsin(0,999) - \gamma_1}{2} = \frac{87,491 - 86,292}{2} = 0,575$$

Сопротивление эквивалентной ветви

$$Z_{1-2} = \frac{2U_1 \sin \alpha_{1-2}}{\beta_1 \sin 2\alpha_{1-2} - \alpha_1 \cos 2\alpha_{1-2}} = 601,314 (\text{Ом})$$

$$\psi_{6-7} = 90^\circ - \alpha_{1-2} = 89,425^\circ$$

Модуль и фазу эквивалентной ЭДС

$$E_1 = \sqrt{U_1^2 + I_1^2 Z_{1-2}^2 - 2Z_{1-2} (Q_1 \cos \alpha_{1-2} + P_1 \sin \alpha_{1-2})}$$

$$= \sqrt{220^2 + 0,033 \cdot 601,314^2 - 2 \cdot 601,314 \cdot [31,8 \cdot \cos(0,575) + 4 \cdot \sin(0,575)]} =$$

$$= 169,693 \text{ кВ}$$

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{P_1 Z_{1-2} \cos \alpha_{1-2} - Q_1 Z_{1-2} \sin \alpha_{1-2}}{U_1^2 - P_1 Z_{1-2} \sin \alpha_{1-2} - Q_1 Z_{1-2} \cos \alpha_{1-2}} =$$

$$= \frac{44,1 \cdot 601,314 \cdot \cos(0,575) - 4 \cdot 601,314 \cdot \sin(0,575)}{207^2 - 44,1 \cdot 601,314 \cdot \sin(0,575) - 4 \cdot 601,314 \cdot \cos(0,575)} = 0,55$$

$$\delta_1 = 28,832$$

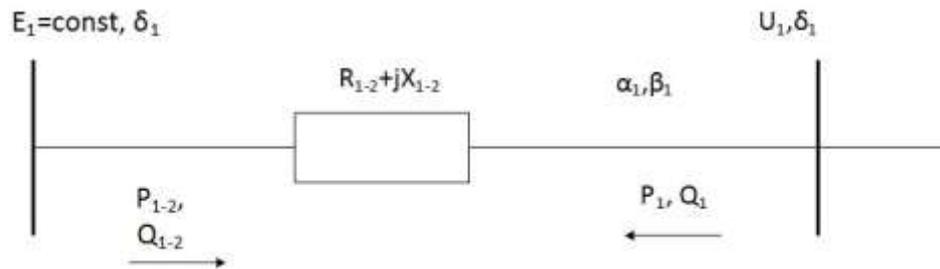


Рис.3.2. Схема замещения подсистемы

Найдем собственные и взаимные проводимости эквивалентной ветви

$$g_{11} = g_{22} = \frac{1}{Z_{1-2}} \sin \alpha_{1-2} = 1,668 \cdot 10^{-5} \text{ (1 / Ом)}$$

$$b_{11} = b_{22} = \frac{1}{Z_{1-2}} \cos \alpha_{1-2} = 1,663 \cdot 10^{-3} \text{ (1 / Ом)}$$

$$y_{1-2} = \frac{1}{Z_{1-2}} = 1,663 \cdot 10^{-3} \text{ (1 / Ом)}$$

$$Z_{1-2} = R_{1-2} + jX_{1-2} = 6,03 + j601,284 \text{ (Ом)}$$

Активная мощность узла №1

$$P_{12} = -P_1 + \Delta P_{12} = -44,003 \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{12} = I_1^2 R_{12} = 0,033 \cdot 6,03 = 0,197 \text{ МВт}$$

В таблице 3.1 приведены значения реактивной и активной мощности для узла 1 для исходной и эквивалентированной схемы.

Таблица 3.1.— Результаты расчета режимов

Режим. состояние		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$U_1$ , кВ	202	207	212	217	222	227	232	237	242
Исход. схема	$P_{1-2}$ , МВт	44,1	44,1	44,2	44,3	44,4	44,5	44,6	44,7	44,8
	$Q_{1-2}$ , Мвар	3,3	4,0	4,9	5,9	7,0	8,1	9,4	10,7	12,7
Эквивал. схема	$P_{1-2}$ , МВт	44,1	44,1	44,16	44,3	44,37	44,49	44,62	44,7	45,2
	$Q_{1-2}$ , Мвар	3,27	4,0	4,89	5,9	7,02	8,09	9,41	10,7	12,71

Исходя из полученных результатов, представленных в таблице 3.1 видно, что значения, полученные с помощью эквивалентирования, совпадают со значениями исходной системы.

### 3.3.2 Расчет параметров эквивалента обобщенных статических характеристик методом наименьших квадратов

При изменении напряжения от  $0,95U_{\text{ном}}$  до  $1,05U_{\text{ном}}$  в данном узле были рассчитаны установившиеся режимы в программном комплексе RastrWin, полученные результаты представлены в таблице 9. Для данной системы примем  $U_{\text{БАЗ}} = 220$  кВт;  $P_{\text{БАЗ}} = 44,3$  МВт;  $Q_{\text{БАЗ}} = 6,9$  Мвар и рассчитаем по формулам (3.8) и (3.9)  $P_{*(i)}$ ;  $Q_{*(i)}$ ;  $U_{*(i)}$ .

$$P_{*(1)} = \frac{P_{(1)}}{P_{\text{БАЗ}}} = \frac{44,2}{44,3} = 0,998 \text{ о.е.}$$

$$Q_{*(1)} = \frac{Q_{(i)}}{Q_{\text{БАЗ}}} = \frac{4,9}{6,9} = 0,710 \text{ о.е.}$$

$$U_{*(1)} = \frac{U_{(1)}}{U_{\text{БАЗ}}} = \frac{212}{220} = 0,964 \text{ о.е.}$$

$$0,998 = a_0 + a_1 \cdot 0,964 + a_2 \cdot 0,964^2$$

$$0,710 = b_0 + b_1 \cdot 0,964 + b_2 \cdot 0,964^2$$

Далее все расчеты сведем в таблицы 3.2 и 3.3

Таблица 3.2. Значения производным активной мощности

$i$	$U_*^0$	$U_*^1$	$U_*^2$	$U_*^3$	$U_*^4$	$U_*^0 P_*$	$U_*^1 P_*$	$U_*^2 P_*$
1	1	0,964	0,929	0,896	0,863	0,998	0,962	0,927
2	1	0,986	0,972	0,959	0,945	1,000	0,986	0,972
3	1	1,009	1,018	1,027	1,036	1,002	1,011	1,020
4	1	1,032	1,065	1,099	1,134	1,005	1,037	1,070
5	1	1,055	1,113	1,174	1,239	1,007	1,062	1,120
$\sum i$	5	5,045	5,096	5,153	5,216	5,011	5,057	5,109

Система для расчета коэффициентов  $a_0, a_1, a_2$  имеет вид

$$a_0 \cdot 5 + a_1 \cdot 5,045 + a_2 \cdot 5,096 = 5,011$$

$$a_0 \cdot 5,045 + a_1 \cdot 5,096 + a_2 \cdot 5,153 = 5,057$$

$$a_0 \cdot 5,096 + a_1 \cdot 5,153 + a_2 \cdot 5,216 = 5,109$$

Решим полученную систему и найдем

$a_0 = 1,417$ ;  $a_1 = -1$   $a_2 = 0,583$ ; следовательно, искомым полином есть

$$P_{*i}(U_{*i}) = 1,417 - 1 \cdot U_{*i} + 0,583 \cdot U_{*i}^2$$

$$P_i = P_{*i}(U_{*i}) \cdot P_{\text{БАЗ}}$$

Аналогично рассчитаем активную мощность. Полученные значения приведены в таблице 3.3. для исходной и эквивалентруемой схемы.

Таблица 3.3. Результаты расчета режимов

Режим. состояние		1	2	3	4	5
	$U_1, \text{кВ}$	212	217	222	227	232
Исходные схема	$P_{1-2}, \text{МВт}$	44,2	44,3	44,4	44,5	44,6
	$Q_{1-2}, \text{Мвар}$	4,9	5,9	7,0	8,1	9,4
Эквивалентные схема	$P_{1-2}, \text{МВт}$	44,18	44,3	44,37	44,49	44,68
	$Q_{1-2}, \text{Мвар}$	4,89	5,9	6,99	8,1	9,38

На рис.3.3-3.4 представлены статические характеристики активной и реактивной мощности для исходной и эквивалентной схемы.

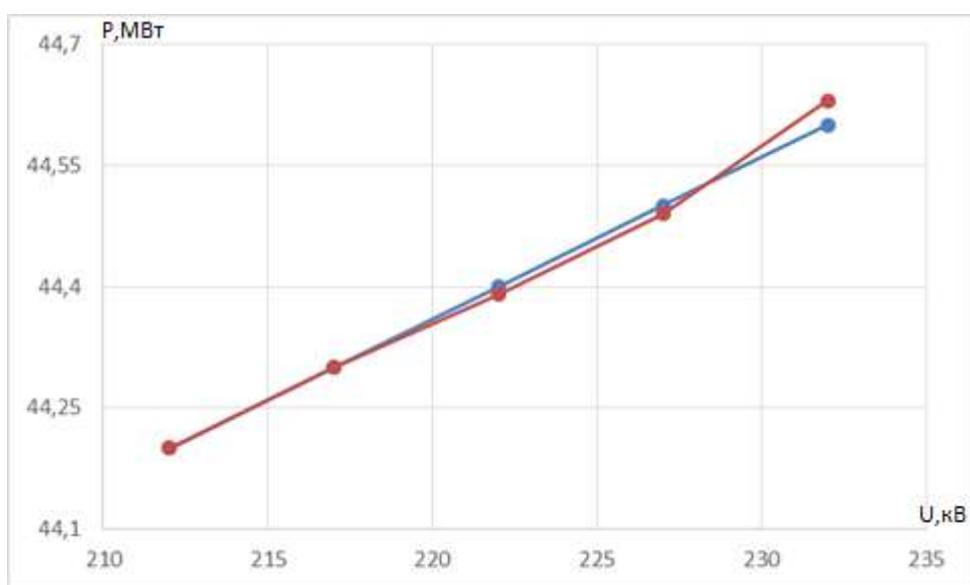
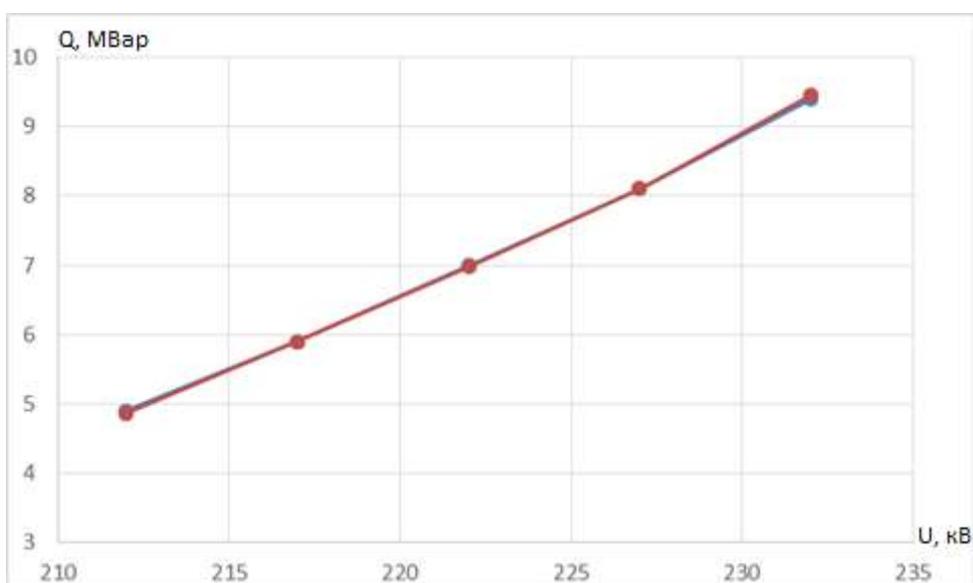


Рис.3.3. Статические характеристики активной мощности



### Рис.3.4. Статические характеристики реактивной мощности

Из полученных результатов расчетов в таблице 3.3 и из построенных статических характеристик видно, что значения, полученные с помощью эквивалентирования, практически совпадают со значениями исходной системы. Этой неточностью можно пренебречь.

### **Заключение**

В данной выпускной квалификационной работе был исследован Парабельский энергоузел. В ходе выполнения данной работы были рассчитаны максимальный и минимальный режимы работы, а также введены в допустимую область по напряжению и был произведен расчет параметров эквивалентов в виде обобщенных статических характеристик и активного четырехполюсника.

По результатам расчетов минимальных и максимальных установившихся режимов были выявлены проблемные узлы, напряжения в которых затем были введены в допустимую область отклонения. Ввод в

допустимую область осуществлялся с помощью РПН трансформаторов данных подстанций.

Расчет параметров эквивалента в виде обобщенных статических характеристик показал, что эквивалентирование является эффективным средством замещения и упрощения, рассматриваемого энергоузла. Значения, полученные с помощью эквивалентирования данным способом, практически совпали с значениями мощностей, полученных в программном комплексе. Несовпадением является незначительным и им можно пренебречь. При расчете параметров в виде активного четырехполюсника, наблюдается более значительные отклонения от значений исходной схемой. Вероятно, эти отклонения связаны с большим количеством вычислительных операций, связанных с малыми по значению числами.

Проанализировав полученные результаты данной работы можно сказать, что эквивалентирование позволяет значительно упростить исходную схему, без существенного снижения качества полученных результатов и позволяет выполнять поиск решение задач быстрее.

#### **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Данная НИР посвящена эквивалентированию Парабельского энергоузла на базе режимных параметров.

Целью данного раздела в научно-исследовательской работе является определение перспективности и успешности разрабатываемого проекта, разработка механизмов управления и сопровождения проектных решений на этапе реализации.

В данной главе выпускной квалификационной работы составляется календарный план выполнения работы, определяется трудоемкость работ, строится график Ганта работ. Кроме того, рассчитывается стоимость затрат научной исследовательской работы.

Разработка НИР производится руководителем и студентом, выполняющим выпускную квалификационную работу.

Перспективность данной НИР заключается в том, что метод эквивалентирования позволяет сократить время необходимое для расчетов. А также для расчетов может понадобиться теперь менее мощная компьютерная техника, что приведет к сокращению расходов.

#### **4.1 Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы**

Поскольку проблема эффективного и надежного функционирования ЕЭС России весьма актуальна. Необходимо не только знать полную информацию о состоянии системы в настоящий момент, но и проанализировать все эксплуатационные режимы еще на стадии проектирования. С развитием компьютерных технологий решение этих задач стало намного быстрее, выросла точность расчетов.

Потребителем может является такая компании, как: ОАО «ТРК», а также могут является различные как энергетические, так и проектировочные компании. Поскольку данное исследование весьма актуально и необходимо в компаниях.

##### **4.1.1 Организация и планирование научного исследования**

Эквивалентирование Парабельского энергоузла на базе режимных параметров производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

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 и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (4.1)$$

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.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по выражению:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

Результаты расчета трудоемкости и продолжительности каждой работы с указанием исполнителей всех этапов конструкторской и технологической подготовки производства приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. – Этапы реализации проекта

Содержание работ	Продолжительность работ, ожид/день			Труд. работ $T_p$	Исполнители
	$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$		
<b>ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП</b>					
Получение задания, разработка задачи	5	7	6	3	Студент, НР
Календарное планирование работ по теме	3	6	4	4	НР
Подбор и изучение материалов по теме	6	10	8	4	Студент, НР
<b>ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА</b>					
Исследование эквивалентирования энергосистем	10	15	12	12	Студент
Исследование метода эквивалентирования подсистем на базе режимным параметров	5	7	6	3	Студент, НР
Изучение построения моделей в программном комплексе RastrWin3	12	15	13	7	Студент, НР

Продолжение таблицы 4.1.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ					
Расчеты параметров эквивалентов энергосистем в программе RastrWin3	25	35	29	29	Студент
Расчеты max и min установившихся режимов	23	28	25	25	Студент
Подбор полиномов для моделирования обобщенных статических характеристик энергоузла	8	13	10	5	Студент, НР
Создание отчета по проделанной работе	5	8	6	6	Студент
Согласование с руководителем по проекту	3	5	4	2	Студент, НР
ВНЕСЕНИЕ КОРРЕКТИРОВОК В РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ					
Корректировка проекта	12	16	10	10	Студент
ЗАВЕРШАЮЩИЙ ЭТАП					
Оформление технической документации	13	17	10	10	Студент
Выводы по проделанной работе	9	12	10	5	Студент
Проверка готовой пояснительной записки	5	8	6	6	НР
Сдача выпускной работы	1	1	1	1	Студент

В рамках выполнения дипломной работы необходимо построить ленточный график проекта, 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. Эта диаграмма дает возможность наглядно отслеживать процесс выполнения работ, а также следить за сроками их готовности.

Диаграмма Ганта представлена в приложение В. Общая продолжительность НИР по графику Ганта составила 155 рабочих дня. Продолжительность работы студента составило 121 день, а продолжительность работы научного руководителя 38 дней.

## 4.2. Смета затрат на разработку исследования

Смета расходов рассчитывается, как затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- расходы на оплату труда;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- расходы на материалы и комплектующие изделия;
- расходы на спецоборудование;
- накладные расходы.

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам. комп. техн}} + I_{\text{з/пл}} + I_{\text{соц. отч.}} + I_{\text{накл. расх}} \quad (4.3)$$

### 4.2.1 Материальные затраты

Материальные затраты включают в себя стоимость приобретенных материалов и сырья, которые необходимы для разработки НИР.

Расчет материальные затраты ( $I_{\text{мат}}$ ) осуществляется по следующей формуле:

$$I_{\text{мат}} = K_{\text{комп}} + K_{\text{прин}} + K_{\text{бум}} + K_{\text{карт}} = 80000 + 6000 + 100 + 700 + 1000 = 87800 \text{ руб.} \quad (4.4)$$

Результаты расчета сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2. – Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм	Срок службы, год	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Компьютер	шт	7	2	40000	80000
Принтер лазерный цветной	шт	5	1	6000	6000
Бумага формата А4	лист	-	500	0,2	100
Картридж ч/б	шт	-	1	700	700
Картридж цветной	шт	-	1	1000	1000
Итого					87800

### 4.2.2 Амортизационные отчисления

**Амортизационные отчисления** – это постепенное погашение стоимости основных фондов предприятия, изнашивающихся в процессе работы и с течением времени.

При расчете затрат на амортизацию следует учитывать приобретения в году и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году.

Необходимо рассчитать амортизацию компьютерной техники ( $I_{\text{ам.комп.техн.}}$ ). Для расчета воспользуемся следующей формулой:

$$I_{\text{ам.комп.техн.}} = (T_{\text{исп.к.т.}}/365) \cdot K_{\text{комп.т.}} \cdot N_{\text{а}}, \quad (4.5)$$

где  $T_{\text{исп.к.т.}}$  – время использования компьютерной техники;

365 дней – число дней в году;

$K_{\text{комп.т.}}$  – стоимость компьютерной техники;

$N_{\text{а}}$  – норма амортизации.

$$K_{\text{комп.т.}} = K_{\text{комп.}} + K_{\text{принтера}} \quad (4.6)$$

где  $K_{\text{комп.}}$  – стоимость компьютера, руб.;

$K_{\text{принтера}}$  – стоимость принтера, руб.;

$$N_{\text{а}} = 1/T_{\text{сл.к.т.}}, \quad (4.7)$$

где  $T_{\text{сл.к.т.}}$  – срок службы компьютерной техники, год.

$$I_{\text{ам.комп.}} = (T_{\text{исп.к.т.}}/365) \cdot K_{\text{комп.т.}} \cdot N_{\text{а}} = (155/365) \cdot 40000 \cdot (1/7) = 2427 \text{ руб.} \quad (4.8)$$

$$I_{\text{ам.прин.}} = (T_{\text{исп.к.т.}}/365) \cdot K_{\text{прин.т.}} \cdot N_{\text{а}} = (118/365) \cdot 6000 \cdot (1/5) = 388 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

$$I_{\text{ам.комп.техн.}} = 2 \cdot I_{\text{ам.комп.}} + I_{\text{ам.прин.}} = 2 \cdot 2427 + 388 = 5242 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

Результаты расчета представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	К <sub>компл.т</sub> руб.	Т <sub>исп.к.т.</sub> дней.	И <sub>ам.компл.техн.</sub> руб
Компьютер	40000	155	2427
Компьютер	40000	155	3474
Принтер лазерный цветной	6000	118	388
Итого	5242		

### 4.2.3 Расходы на оплату труда

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;
- другие виды выплат.

Заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Рассчитывается плановый фонд заработной платы научных, инженерно-технических работников, рабочих мастерских, выполняющих заказы по данной разработке, в соответствии с построенным графиком выполнения работ. Величина планового фонда заработной платы определяется по формуле:

$$\text{ФЗП} = \text{ЗП}_T + \text{ЗП}_D + \text{ЗП}_n, \quad (4.11)$$

где  $\text{ЗП}_T$  – тарифный фонд заработной платы (по окладам);

$\text{ЗП}_D$  – дополнительная заработная плата за неотработанное время (отпуск);

$$ЗП_{д} = (0,08 - 0,16) ЗП_{т}.$$

$ЗП_{п}$  – доплаты за условия работы и проживания (0,3-0,5)  $ЗП_{т}$  (учитывается поясной коэффициент и доплата за вредные и опасные условия работы).

$$ЗП_{т} = З_{тс} \cdot k_{п} \cdot k_{р}$$

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

$k_{п} = 2,65$ - повышающий коэффициент (доцент, имеющий степень кандидата наук);

$k_{р}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томск).

Для руководителя

$$ЗП_{т} = З_{тс} \cdot k_{п} \cdot k_{р} = 23264,86 \cdot 2,65 \cdot 1,3 = 48390,9 \text{ руб.}$$

Средняя зарплата за один день:

$$ЗП_{день} = \frac{ЗП_{т}}{21} = \frac{48390,9}{21} = 2304,32 \text{ руб.}$$

Таблица 4.4.–Расчет тарифного фонда заработной платы

Исполнитель	$З_{тс}$ , руб.	$K_{п}$	$ЗП_{т}$ , руб/месяц	$ЗП_{день}$ ,руб	$T_{р}$ , раб.дн.	$ЗП_{т}$ руб.
Руководитель	23264,8	2,65	14671,29	2304,3	34	78346

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину 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

$$ПЗ_{п} = 0,01 \cdot ПЗ_{т}$$

Для руководителя:

$$ПЗ_{п} = 0,01 \cdot ПЗ_{т} = 0,01 \cdot 78346 = 783 \text{ руб.}$$

Полный фонд заработной платы:

$$\Phi ЗП = 78346 + 783 + 6267,7 = 85396 \text{ руб}$$

#### 4.2.4 Отчисления во внебюджетные страховые фонды

Отчисления во внебюджетные страховые фонды составляют 30 % от расходов на оплату труда и включают в себя: обязательные отчисления органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Рассчитываем отчисления на социальные нужды ( $I_{\text{соц.отч.}}$ ):

$$I_{\text{соц.отч.}} = ЕСН = 0,3 \cdot \Phi ЗП = 0,3 \cdot 85396 = 25619 \text{ руб} \quad (4.12)$$

#### 4.2.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы. Тогда:

$$I_{\text{накл.расх}} = 2,0 \cdot \Phi ЗП = 2,0 \cdot 85396 = 170793 \text{ руб.} \quad (4.13)$$

#### 4.2.6 Себестоимость проекта

Следовательно, себестоимость проекта ( $K_{\text{проекта}}$ ) равна:

$$\Sigma I_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.комп.техн}} + ЗП + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}} = 87800 + 5242 + 85396,9 + 25619 + 170793 = 374850 \text{ руб.} \quad (4.14)$$

Далее определяем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$ПР = 0,3 \cdot K_{\text{проекта}} = 0,3 \cdot 374850 = 112455 \text{ руб.} \quad (4.15)$$

Рассчитываем стоимость проекта (Ц).

$$Ц = K_{\text{проекта}} + ПР = 374850 + 112455 = 487305 \text{ руб.} \quad (4.16)$$

В таблице 4.5 представлена смета затрат на НИР.

Таблица 4.5. - Смета затрат на научно-исследовательскую работу

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
-------------	-------------	--------------------

Материальные затраты	$I_{\text{матер}}$	87800
Амортизация компьютерной техники	$I_{\text{ам, комп. техн}}$	5242
Затраты на оплату труда	ЗП	78346
Отчисления на социальные нужды	$I_{\text{соц. отчисл}}$	25619
Накладные расходы	$I_{\text{накл. расх}}$	170793
Себестоимость проекта	$K_{\text{проекта}}$	374850
Плановые накопления (прибыль)	ПР	112455
Стоимость НИР (цена)	Ц	487305

### 4.3 Оценка научно-технического уровня проекта

Оценка научной ценности, технической значимости и эффективности проекта производится с помощью расчета коэффициента научно-технического уровня. Расчет коэффициента производится методом балльных оценок, суть которого состоит в присвоении каждому из признаков научно-технического уровня определенного количества баллов по принятой шкале. Общую оценку можно сделать, просуммировав количество баллов по всем признакам с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле 17

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i \quad (4.17)$$

где  $k_i$  – весовой коэффициент  $i$  – го признака;  
 $П_i$  – количественная оценка  $i$  – го признака.

Экспертным путем были присвоены численные значения коэффициентов. Они были присвоены исходя из следующих соображений:

1. Новизна проекта заключается в том, что полученный эквивалент строго отражает свойство рассматриваемой части энергосистемы, по параметрам которого он рассчитан. Но так как данный проект не является абсолютно новым, коэффициент достигнутого уровня принимаем численно равным 0,5.
2. Перспективность данного проекта заключается в том, что метод эквивалентирования позволяет сократить время необходимое для

расчетов. Для данного фактора коэффициент теоретического уровня принят равным 0,6.

3. Масштаб реализации полученных результатов может распространяться как на всю энергосистему, так и на отдельные ее части. Поэтому коэффициент принят равным 0,3.

Т а б л и ц а 4.6. – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
1.Уровень новизны	0,5
2.Теоретический уровень	0,6
3.Возможность реализации	0,3

Т а б л и ц а 4.7. – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
<b>11-14</b>	<b>Высокий НТУ</b>

Т а б л и ц а 4.8. – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
<b>Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами</b>	<b>8</b>
Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Т а б л и ц а 4.9 - Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
<b>Уже реализуется, но есть много недостатков</b>	<b>8</b>
В течение первых лет	6
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
<b>Одно или несколько предприятий</b>	<b>2</b>
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0,5, P_1 = 11, k_2 = 0,6, P_2 = 8,$$

$$k_3 = 0,3, P_3 = 8, k_4 = 0,3, P_4 = 2.$$

$$НТУ = 0,5 \cdot 11 + 0,6 \cdot 8 + 0,3 \cdot 8 + 0,3 \cdot 2 = 13,3$$

Итак, в данном разделе выпускной квалификационной работы были решены все поставленные задачи:

1) Приведено технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы,

2) Осуществлено планирование работ по научному исследованию.

Составлен план выполнения работы, была построена диаграмма Ганта и произведена оценка трудоемкости работы. Общая продолжительность НИР по графику Ганта составила 155 рабочих дня.

3) Рассчитаны затраты на НИР, Общий бюджет научной работы составил 487 305 рублей. Так как для проведения исследования используется база лабораторий ЭНИН ТПУ, то экономия проекта составила 86 000 рублей.

4) Произведена оценка научно-технического уровня проекта. По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня (13,2) можно сделать вывод, что данный проект имеет сравнительно высокую значимость теоретического и практического уровня, но при этом используется только на предприятиях с высоким техническим оснащением и высоким уровнем автоматизации электроэнергетических процессов.

После получения результатов по данному проекту не планируется получения патентов, авторских свидетельств и подобных документов. По данному проекту будет составлено техническое задание и доложено на университетском уровне.

В процессе любой трудовой деятельности, каждый человек подвергается воздействию целого комплекса производственных факторов. В свою очередь, эти факторы способны оказывать плохое влияние на здоровье человека. Совокупность всех факторов, влияющих на здоровье человека, называется условиями труда.

Реальные условия труда характеризуются различными вредными и опасными факторами, которые могут рано или поздно привести к потере здоровья или к несчастному случаю.

Для недопущения несчастных случаев и вреда здоровью, рабочее место должно быть спроектировано с соблюдением всех законодательных норм и правил, ГОСТов, СНиПов и Федеральных законов.

В данной главе рассматривается рабочее место инженера эксплуатационника, которое находится в Томской Распределительной компании (ТРК) в городе Томск. Основная работа происходит на персональном компьютере ПК, с помощью которого можно осуществлять хранение и обработку информации, создавать и формировать необходимые документы для отчетности.

Задачами данного раздела являются:

- 1) Анализ рабочего помещения на наличие опасных и вредных факторов;
- 2) Анализ законодательных и нормативных документов, затрагивающих данную тему;
- 3) Анализ влияния вредных и опасных факторов на инженера эксплуатационника, проанализировать меры по снижению влияния опасных и вредных факторов.

## **5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

Так как основное рабочее место инженера эксплуатационника располагается в офисном помещении и вся работа происходит на персональном компьютере (ПК) то при несоблюдении санитарно-гигиенических правил и норм такая работа может привести к развитию различных заболеваний. При работе с ПК возможны следующие вредные факторы: высокий уровень шума и температуры, влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения, дефицит естественного света, низкая освещённость, электромагнитное излучение. К опасным факторам относится возможность поражения электрическим током и статическим электричеством, пожар.

При выполнении работы на персональном компьютере (ПК) согласно ГОСТу 12.0.003-74 “ССБТ, должны быть соблюдены ряд факторов представленных в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ на рабочем месте

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ с измен. 1999 г.)	Нормативные документы
	ВРЕДНЫЕ	
Работа инженера эксплуатационника в офисном помещении	1.Отсутствие или недостаток естественного света;	СанПиН 2.2.1.1278-03
	2.Недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны;	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03
	3.Зрительное напряжение;	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03
	4.Микроклимат;	СанПиН 2.2.4.548-96
	5.Шум	СН 2.2.4/2.18.562-96

Продолжение Таблицы 5.1.

	6.Электромагнитные излучения	СанПиН 2.2.4.1191-03
	ОПАСНЫЕ	
	1.Электрический ток промышленной частоты	ГОСТ12.1.019- 79
	2.Повышенный уровень статического электричества;	ГОСТ 12.1.038- 82

На рабочем месте инженера эксплуатационника должны быть соблюдены следующие основные условия:

- оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места;
- достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения;
- необходимо естественное и искусственное освещение для выполнения поставленных задач;
- уровень акустического шума не должен превышать допустимого значения.

### 5.1.1 Микроклимат

Микроклимат производственных помещений определяется совокупным воздействием на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей.

Микроклимат различных производственных помещений зависит от колебаний внешних метеорологических условий, времени дня, года особенностей производственного процесса и систем отопления и вентиляции.

Указанные параметры оказывают значительное влияние на работоспособность человека, его самочувствие и здоровье. Для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают

оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения. Рабочая зона ограничивается высотой 2,2 м над уровнем пола, где находится рабочее место. Для обеспечения оптимальных условий труда санитарные нормы [7] определяют на одного работающего человека объём производственного помещения не менее 20 м<sup>3</sup> площади помещения, огороженного стенами не менее 6 м<sup>2</sup>. При этом нормируются: температура, относительная влажность и скорость движения воздуха [7].

Нормы учитывают время года – холодный и переходный (+10°С и ниже), теплый (+10°С и выше) периоды; категорию работ – легкая, средней тяжести и тяжелая; характеристику помещения по тепловому облучению.

Работы, выполняемые на данном рабочем месте, относятся к категории Ia, т.е. это работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

В таблицах 5.2. и 5.3. приведены оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата для категории работ по уровню энергозатрат - Ia соответственно.

Таблица 5.2. – Оптимальные нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Средняя скорость движения воздуха, не более 2 м/с
Холодный	Ia	22 - 24	60 - 40	0,1
Тёплый	Ia	23 - 25	60 - 40	0,1

Таблица 5.3 - Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работы	Температура, °С		Относительная влажность, %, не более	Скорость движения воздуха, м/с, не более
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		
Холодный	Ia	20-21,9	24,1-25	15 - 75	0,1
Теплый	Ia	21-22,9	25,1-28	15 - 75	0,1-0,2

Требуемое состояние микроклимата рабочей зоны может быть обеспечено с помощью таких технических средств, как:

- Устройства, предназначенные для защиты от тепловых излучений, снижающие температуру воздуха в помещении, а также снижающие уровень теплового облучения работающих. Для этой цели в кабинет устанавливают кондиционер;
- Устройства вентиляции и отопления.

Целью вентиляции является создание благоприятное для человека состояние воздушной среды и обеспечение правильный состав воздуха. Нормальный воздух для дыхания должен содержать не менее 21% кислорода. Постоянная нехватка кислорода снижает работоспособность, отрицательно сказывается на здоровье человека, ускоряет процесс старения.

Отопление в помещениях предназначено для искусственного обогрева помещения с целью возмещения теплопотерь, а также для поддержания температуры на необходимом уровне.

### 5.1.2 Освещение

Освещение – получение, распределение и использование световой энергии для обеспечения благоприятных условий видения предметов и объектов. Рациональное освещение помещений и рабочих мест – одно из важнейших условий создания благоприятных и безопасных условий труда.

Качество получаемой информации, а значит и эффективной работы, во многом зависит от освещения: неудовлетворительное в количественном или качественном отношении освещение не только утомляет зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Нерационально организованное освещение может, кроме того явиться причиной травматизма: плохо освещенные опасные зоны, слепящие источники света и блики от них, резкие тени и пульсации освещенности ухудшают видимость и могут вызвать неадекватное восприятие наблюдаемого объекта. Поэтому рациональное освещение помещений и рабочих мест – одно из важнейших условий для создания благоприятных и безопасных условий труда.

Согласно [16] нормы освещённости для офисов общего назначения с использованием компьютеров составляет 200-400 Лк.

В зависимости от источника света освещение может быть трех видов: естественное, искусственное и комбинированное.

Комбинированное освещение состоит из общего и местного. Его целесообразно устраивать при работах высокой точности, а также при необходимости создания в процессе работы определенной направленности светового потока.

Нормирование естественного освещения осуществляется согласно [16] и представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4. - Нормируемые показатели искусственного освещения основных помещений общественного здания, а также сопутствующих им производственных помещений

Помещения	Искусственное освещение	
	Освещенность, лк	
	При комбинированном освещении	
	Всего	От общего
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	400	200

Для данного производственного помещения будет применяться система комбинированного освещения. Светильники ШОД (1530×284, мощность – 2×80 Вт, КПД=83 %). Высота помещения составляет 4 метра, что позволяет использовать данный светильник (минимальная высота составляет 2,5 м).

### 5.1.3 Шум

Воздействие шума в течение продолжительного времени вызывает негативное воздействие в первую очередь на органы слуха, нервной и сердечно-сосудистой системах.

При постоянном воздействии шума, у работающих может возникнуть ряд заболеваний – тугоухость гипертоническая болезнь сердца, стенокардия и т.д.

Под влиянием шумов с уровнями звукового давления 90 – 100 дБ притупляется острота зрения, появляются головные боли и головокружения, происходит нарушение сердечной деятельности, наблюдается бессонница. При очень высоких уровнях звукового давления 145 дБ и выше возможен разрыв барабанной перепонки.

К внутренним источникам шума относятся принтер, компьютерная техника, вентиляционное оборудование, мелкая бытовая техника, а к внешним – шум вне помещения. Чтобы снизить уровень шума внутри помещения можно использовать виброизолирующие поверхности для шумящего оборудования, например, войлок или резину, мягкие коврики. Для уменьшения шума, проникающего извне в помещение, необходимо установить уплотнение по периметру притворов дверей и окон.

Предельно допустимые уровни шума нормируются [10], представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 - Предельно допустимые уровни шума

Уровень звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

#### 5.1.4 Электромагнитное излучение

Воздействие электромагнитного излучения на организм человека представляет значительную угрозу для его здоровья, если происходит превышения допустимых норм. Кроме того, сильное воздействие оказывают на изменения со стороны центральной нервной и сердечно-сосудистой систем организма. Нормирование постоянных магнитных полей производится по СНиП 1748-72. Напряженность рабочего места при работе магнитных устройств не должна превышать 8 кА/м. Согласно [13], облучение электрическим полем регламентируется по величине напряженности и по продолжительности действия. В таблице 5.6. представлены допустимые уровни напряженности электрического поля и продолжительности пребывания работающих без средств защиты.

Таблица 5.6. – Допустимые уровни напряженности электрического поля и продолжительности пребывания работающих без средств защиты

Напряженность электрического поля, кВ/м	Допустимая продолжительность действия, мин.
Менее 5	Без ограничений
5-10	Не более 180
10-15	Не более 90
15-20	Не более 10
20-25	Не более 5

Ослабление мощности электромагнитного поля на рабочем месте происходит путём увеличения расстояния между источником излучения и рабочим местом, установкой отражающих или поглощающих экранов между

источником и рабочим местом, размещение токоведущих элементов аппаратов и устройств в ферромагнитные оболочки кожухи. Наиболее эффективна установка экранов, экранируют либо источник излучения, либо рабочее место, также применяют заземляющие экраны.

## **5.2 Анализ выявленных опасных факторов**

### **5.2.1 Электробезопасность**

К опасным физическим фактором на рабочем месте инженера эксплуатационника относится возможность поражения электрическим током и статическим электричеством согласно [21].

Электрический ток, протекая через тело человека, производит термическое, электролитическое, биологическое, механическое действие.

- Термическое действие характеризуется нагревом кожи, тканей вплоть до ожогов.
- Электролитическое действие заключается в разложении жидкостей, в том числе крови, в изменении их состава и свойств.
- Биологическое действие проявляется в нарушении биологических процессов, протекающих в организме человека, сопровождается раздражением и возбуждением тканей, и судорожным сокращением мышц, нарушением дыхания и работы сердца.
- Механическое действие приводит к разрыву тканей в результате электродинамического эффекта, ушибы, вывихи, переломы вследствие резких судорожных движений тела.

Согласно ПУЭ здание ТРК относится к 1 классу помещений по степени опасности поражения людей электрическим током: помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

Возможность поражения электрическим током вызвана неправильными действиями персонала при проведении работ, прикосновением к

нетоковедущим частям, которые оказались под напряжением в результате пробоя изоляции оборудования.

Вероятность поражения электрическим током можно снизить путем инструктирования персонала, проведением экзаменов на проверку знания правил техники безопасности, правил технической эксплуатации, межотраслевых правил при работе с электроустановками и оказания первой помощи пострадавшему. Экзамены по ТБ должны проводиться специальной комиссией, которая утверждена контролирующими органами. Также обязательной нормой выполняется защитное заземление и зануление, устанавливаются устройства защиты оборудования (УЗО), отключающее электропитание от устройств, чьи нетоковедущие части оказались под напряжением.

Статический заряд накопленный на теле человека, вследствие явления электризации, может вывести из строя компоненты компьютерной техники.

При работе с компьютерной техникой, в целях защиты его от статического электричества, необходимо правильно выполнить заземляющее устройство и поддерживать влажность на требуемом уровне, а также возможно использование антистатических ковриков под рабочим местом.

### **5.3 Охрана окружающей среды**

Основные принципы охраны окружающей среды допускают воздействие предприятий на природную среду, исходя из требований в области охраны окружающей среды. При этом снижение негативного воздействия на окружающую среду должно достигаться на основе использования наилучших существующих технологий с учетом экономических и социальных факторов.

При выполнении работы на рабочем месте инженер эксплуатационник при дыхании выделяет в атмосферу углекислый газ.

Окислы углерода (СО и СО<sub>2</sub>) практически не взаимодействуют с другими веществами в атмосфере и время их существования практически не ограничено.

Свойства CO и CO<sub>2</sub>, как и других газов, по отношению к солнечному излучению характеризуются избирательностью в небольших участках спектра.

Сточные воды содержат ванадий, никель, фтор, фенолы и нефтепродукты. На крупных электростанциях расход воды, загрязнённой нефтепродуктами (масла и мазут), доходит до 10-15 м<sup>3</sup>/ч при среднем содержании нефтепродуктов 1-30 мг/кг (после очистки). При сбросе их в водоёмы они оказывают пагубное влияние на качество воды, водные организмы.

Очистка и утилизация сточных вод из канализационных систем населенных пунктов производится в специальных очистных сооружениях.

Также, в этих сооружениях производится обработка и обеззараживание сточных вод, которое позволяет выполнить в дальнейшем их утилизацию.

Опасным отходом являются отработанные энергосберегающие лампы, так как в этих лампах находится ртуть. Ртуть относится к вредным веществам первой категории, и неправильная утилизация сильно вредит окружающей среде и людям, которые находятся рядом.

После утилизации отходы отправляются на переработку, металл отправляется на переплавку на предприятия черной и цветной металлургии, а отходы, не подлежащие переработке, отправляются на специальные полигоны для захоронения.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций:

- Воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижению их физико-математических показателей.
- Проектно-производственные дефекты сооружений (ошибки при изыскании и проектировании, низкокачественное выполнение строительных работ, плохое качество строительных материалов и конструкций, нарушения в технологии изготовления и строительства).

- Воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, скорость, высокие температуры, вибрация).

- Нарушение правил эксплуатации, сооружений и технологических процессов (вызывающих взрывы котлов, химических веществ, угольной пыли, метана в шахтах).

- Нарушение правил техники безопасности при ведении работ и технологических процессов.

- Ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и специалистов и их некомпетентностью и безответственностью и т.д.

К основным видам возможных ЧС техногенного характера относятся:

- пожары и взрывы;
- транспортные аварии;
- аварии на энергетических и коммунальных системах;
- обрушение зданий и сооружений.

Наиболее типичным ЧС являются пожары и взрывы.

Предотвращение возникновения источника инициирования взрыва должно быть обеспечено:

- предотвращением нагрева оборудования до температуры самовоспламенения взрывоопасной среды;

- применением материалов, не создающих при соударении искр, способных инициировать взрыв взрывоопасной среды; применением средств защиты от атмосферного и статического электричества, блуждающих токов, токов замыкания на землю и т. д.:

- применением быстродействующих средств защитного отключения возможных электрических источников инициирования взрыва;
- ограничением мощности электромагнитных и других излучений;
- устранением опасных тепловых проявлений химических реакций и механических воздействий.

Предотвращение воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов, возникающих в результате взрыва, и сохранение материальных ценностей обеспечиваются:

- установлением минимальных количеств взрывоопасных веществ, применяемых в данных производственных процессах;
- применением огнепреградителей, гидрозатворов, водяных и пылевых заслонов, инертных (не поддерживающих горение) газовых или паровых завес;
- защитой оборудования от разрушения при взрыве при помощи устройств аварийного сброса давления (предохранительные мембраны и клапаны);
- применением быстродействующих отсечных и обратных клапанов;
- применением систем активного подавления взрыва;
- применением средств предупредительной сигнализации.

Пожары на производстве возникают по некоторым причинам, устранение которых составляет основу всех мероприятий по пожарной безопасности.

Основные причины возникновения пожара:

- Нарушение способа хранения пожароопасных материалов;
- Применение неисправных осветительных приборов, электропроводки и устройств, дающих искрение, замыкание и т. п.;
- Перегрузка электрических сетей;
- Самовозгорание веществ и материалов;

- Курение в неустановленных местах;

Пожарная безопасность в административных зданиях обеспечивается системой предотвращения пожара путем организационных мероприятий и технических средств, обеспечивающих невозможность возникновения пожара, а также системой пожарной защиты направленной на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничения материального ущерба от него. Зданий ТРК является административным зданием и относится к категории В1 по пожарной опасности [19].

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры: применение не горючих и трудно горючих веществ и материалов в производстве, ограничения количества горючих веществ и их надлежащее размещение; изоляция горючей среды; применение средств коллективной и индивидуальной защиты от огня и средств пожарной сигнализации.

Помещение оборудуется электрической пожарной сигнализацией, которая служит для быстрого извещения службы пожарной охраны о возникшем пожаре. Также в помещениях используются ручные углекислотные огнетушители. Огнетушители предназначены для ликвидации небольших очагов горения, до прибытия пожарной команды.

Помимо пожарного оборудования в местах, определенных пожарной охраной, для размещения первичных мест устанавливают пожарные щиты, на котором размещают огнетушители и пожарный инвентарь.

Огнетушители являются первичными средствами тушения пожаров и занимают одно из главных мест в системе противопожарной защиты. Огнетушители следует располагать на защищаемом объекте таким образом, чтобы они были защищены от воздействия прямых солнечных лучей, тепловых потоков, механических воздействий и других неблагоприятных факторов. В зданиях ТРК находятся порошковый (ОП-10(г)) и воздушно-пенные огнетушители (передвижные ОВП- 50(100)).

## 5.5 Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности

Так как основная работа инженера эксплуатационника производится с помощью персонального компьютера, то необходимо рассмотреть требования к данному рабочему месту.

1. Помещения с ПК должны быть оборудованы системами кондиционирования воздуха, отопления и вентиляции;
2. Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение;
3. Объем рабочей комнаты должен составлять не менее  $20 \text{ м}^3$ , а площадь рабочего места – не менее  $6 \text{ м}^2$ ;
4. В рабочем помещении должны находиться углекислотный огнетушитель и аптечка первой медицинской помощи;
5. Поверхность пола в помещении должна обладать антистатическим эффектом и быть удобной для очистки и уборки;
6. Для комфортного положения рабочей позы необходимо применять рабочие стулья с сиденьем и спинкой, которые регулируются по высоте и углу наклона;
7. Для отделки интерьера внутри помещения с ПК необходимо использовать диффузно – отражающие материалы с коэффициентом отражения для стен – 0,5-0,6; для потолка – 0,7-0,8; для пола – 0,3-0,5.

Для эффективной работы инженера на рабочем месте должны соблюдаться режимы труда и отдыха, для которых предусматривается определенные длительности перерывов, с учетом продолжительности рабочей смены, категории и видов трудовой деятельности.

Время регламентированных перерывов следует устанавливать в зависимости от продолжительности рабочего дня, вида и категории трудовой деятельности (таблица 5.7.)

Таблица 5.7 Время регламентированных перерывов

Категория работы ВДТ, ЭВМ и ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ВДТ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	группа А количество знаков	группа Б количество знаков	группа В, час	при 8-часовой смене	при 12-часовой смене
I	до 20000	до 15000	до 2,0	30	70
II	до 40000	до 30000	до 4,0	50	90
III	до 60000	до 40000	до 6,0	70	120
Примечание. При несоответствии фактических условий труда требованиям настоящих правил время регламентированных перерывов следует увеличить на 30%.					

При 8-часовой работе на ПК регламентированные перерывы следует устанавливать:

для I категории - через 2 часа от начала рабочего дня и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый;

для II категории - через 2 часа от начала рабочего дня и через 1,5-2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый или продолжительностью 10 минут через каждый час работы;

для III категории - через 1,5-2 часа от начала рабочего дня и через 1,5-2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы.

Во время регламентированных перерывов с целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, предотвращения развития познотонического утомления целесообразно выполнять комплексы упражнений.

Все работники, использующие персональный компьютер, должны проходить медицинские осмотры при поступлении на работу, а также с периодичностью, раз в год.

### Список использованных источников

1. Готман В.И., Глазачев А.В. Эквивалентирование энергосистем для оценки статической устойчивости // Известия Томского политехнического университета. – 2010. Т. 316. №4. – С. 152 – 156.
2. Справочник по проектированию электрических сетей. Под редакцией Д.Л. Файбисовича. – Издательство НЦ ЭНАС, 2005. – 320 с.
3. Готман В.И. Особенности управления и построения единой энергосистемы Азиатской части СССР на базе обобщенных статических характеристик: Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 1977. – 96 с.
4. Борисов Р.И., Готман В.И. Эквивалентирование промежуточных систем по трассе дальних ЛЭП переменного тока по режимным параметрам // Известия Томского ордена октябрьской революции и ордена трудового красного знамени политехнического института имени С.М. Кирова – 1972. Т. 227 – С. 18, 70, 80 – 83 с.
5. Готман В. И. математическое моделирование в электроэнергетических системах: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 154 с.
6. Балдов С.В., Бушуева О.А. Определение статических характеристик нагрузки по напряжению в электрических сетях с комплексной нагрузкой. Вестник ИГЭУ: Иваново, Выпуск № 6, 2014. С. 22-30
7. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
8. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: Минздрав России, 1999.
9. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
10. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
11. Правила устройства электроустановок. 6-е изд. с изм. и дополн. – СПб, 1999. – 123 с.

12. ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
13. НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»
14. ГОСТ 30247.0–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования».
15. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
16. СанПиН 2.2.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
17. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
18. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Физические факторы окружающей природной среды. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
19. ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»
20. СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства.

## Приложение А

(Обязательное)

Таблица А.1– Параметры ЛЭП

Название линии	Название участка	Уном., кВ	Длина, км	Марка провода
С-101	Парабель - КС-2	110	2,6	АС 95/16
С-102	Парабель - КС-2	110	2,6	АС 95/16
С-103	Парабель - Тарская	110	72	АС 240/32
С-104	Парабель - Тарская	110	72	АС 240/32
С-103	Тарская-Лугинецкая	110	105	АС 240/32
С-104	Тарская-Лугинецкая	110	105	АС 240/32
С-103	Тарская-Тарская	110	1,15	АС 120/19
С-104	Тарская-Тарская	110	1,15	АС 120/19
С-105	Лугинецкая- Останинская	110	54,13	АС 150/24
С-106	Лугинецкая- Останинская	110	54,13	АС 150/24
С-105	Останинская-Калиновая	110	32,07	АС 150/24
С-106	Останинская-Калиновая	110	32,07	АС 150/24
С-105	Лугинецкая - Калиновая	110	2,13	АС 150/24
С-106	Лугинецкая - Калиновая	110	2,13	АС 150/24
С-109	Лугинецкая - Игольская	110	163,5	АС 240/32
С-110	Лугинецкая - Игольская	110	163,5	АС 240/32
С-113	Лугинецкая - Мыльджино	110	77,8	АС 120/19
С-114	Лугинецкая - Мыльджино	110	77,8	АС 120/19
С-140	Игольская - Двуреченская	110	68,6	АС 120/19
С-141	Игольская - Двуреченская	110	68,6	АС 120/19
С-140	. Крапивинская-отп. З.Моисеевская)	110	19	АС 120/19
С-141	Крапивинская-отп. З.Моисеевская)	110	19	АС 120/19
С-140	З.Моисеевская-Двуреченская)	110	9	АС 120/19
С-141	З.Моисеевская-Двуреченская)	110	9	АС 120/19

## Приложение Б

(Обязательное)

Таблица Б.1 – Параметры схемы замещения ЛЭП

Название участка	R, Ом	X, Ом	B <sub>0</sub> , мкСм	Длина, км	Марка провода
Парабель - КС-2(отрезок 1)	0,78	1,13	3,39	2,6	АС 95/16
Парабель - КС-2(отрезок 2)	0,78	1,13	3,39	2,6	АС 95/16
Парабель-отп. Тарская	8,5	29,16	101,09	72	АС 240/32
Парабель-отп. Тарская	8,5	29,16	101,09	72	АС 240/32
Тарская-Лугинецкая	12,39	42,53	147,42	105	АС 240/32
Тарская-Лугинецкая	12,39	42,53	147,42	105	АС 240/32
Тарская-Тарская	0,28	0,49	1,53	1,15	АС120/19
Тарская-Тарская	0,28	0,49	1,53	1,15	АС120/19
Лугинецкая- Останинская	11,04	22,73	73,26	54,13	АС 150/24
Лугинецкая-Останинская	11,04	22,73	73,26	54,13	АС 150/24
Останинская-Калиновая	6,54	13,47	43,4	32,07	АС 150/24
Останинская-Калиновая	6,54	13,47	43,4	32,07	АС 150/24
Останинская-Останинская	0,43	0,89	5,77	2,13	АС 150/24
Останинская - Останинская	0,43	0,89	5,77	2,13	АС 150/24
Лугинецкая - Игольская	19,29	66,22	229,55	163,5	АС 240/32
Лугинецкая - Игольская	19,29	66,22	229,55	163,5	АС 240/32
Лугинецкая - Мыльджино	18,98	33,22	103,4	77,8	АС120/19
Лугинецкая - Мыльджино	18,98	33,22	103,4	77,8	АС120/19
Игольская - Крапивинская	16,74	29,29	91,17	68,6	АС120/19
Игольская - Крапивинская	16,74	29,29	91,17	68,6	АС120/19
Крапивинская - З.Моисеевская	4,64	8,11	25,25	19	АС120/19
Крапивинская - З.Моисеевская	4,64	8,11	25,25	19	АС120/19
З.Моисеевская - Двуреченская	2,20	3,84	11,96	9	АС120/19
З.Моисеевская-Двуреченская	2,20	3,84	11,96	9	АС120/19

## Приложение В

(обязательное)

Стадии, этапы	Исполнители	Т <sub>р</sub> раб. дн.	Рабочие месяцы											
			Январь		Февраль			Март			Апрель			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1			
<b>ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП</b>														
Получение задания, постановка задачи	Студент	3												
	НР	3												
Календарное планирование работ	НР	4												
Подбор и изучение материалов по теме	НР	5												
	Студент	3												
<b>ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА</b>														
Исследование эквивалентирования энергосистем	Студент	12												
Исследование метода эквивалентирования подсистем на базе режимным параметров	Студент	3												
	НР	3												
Изучение построения моделей в программном комплексе RastrWin3	Студент	7												
	НР	6												
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ</b>														
Расчеты параметров эквивалентов энергосистем	Студент	29												
Расчеты max и min установившего режима	Студент	25												

Стадии, этапы	Исполнитель и	T <sub>р</sub> раб. дн.	Рабочие месяцы					
			Апрель		Май			
			2	3	1	2	3	
Подбор полиномов для моделирования обобщенных статических характеристик	Студент	5	■					
	НР	5						
Создание отчета по проделанной работе	Студент	6		■				
Согласование с руководителем по проекту	НР	2		■				
	Студент	2						
<b>ВНЕСЕНИЕ КОРРЕКТИРОВОК В РАЗРАБОТКУ И ИССЛЕДОВАНИЯ</b>								
Корректировка проекта	Студент	10			■			
<b>ЗАВЕРШАЮЩИЙ ЭТАП</b>								
Оформление технической документации	Студент	10				■		
Вывод по проделанной работе	Студент	5					■	
Проверка готовой пояснительной записки	НР	6						■
Сдача выпускной работы	Студент	1						