

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.02
Кафедра Электрические сети и электротехника

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния регулирующего эффекта нагрузки на частоту при выделении Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку

УДК 621.311.21.004.016(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Песегов Вадим Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Панкратов А.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е.А			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электрических сетей и электротехники	Прохоров А.В	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

Результаты обучения
профессиональные и общекультурные компетенции
по основной образовательной программе подготовки бакалавров
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,
профиль «Электроэнергетические системы и сети»

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международными стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетических систем и сетей, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международными стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 3	Уметь проектировать электроэнергетические системы и электрические сети.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международными стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов электрических сетей энергосистем, а также энергосистемы в целом, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международными стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международными стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международными стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные</i>		
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетических систем.	Требования ФГОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международными стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
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 области электрических сетей энергосистем.	Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетических систем и сетей с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-8, ОК-9, ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-7, ОК-8), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Г	Песегов Вадим Валерьевич

Тема работы:

Исследование влияния регулирующего эффекта нагрузки на частоту при выделении Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку	
Утверждена приказом	Дата <u>27.04.2016</u> № <u>3266/С</u>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	Объектом исследования является регулирующий эффект нагрузки и его влияние на частоту в выделившейся на сбалансированную нагрузку Томской ГРЭС – 2
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none">1. Краткая характеристика Томской ГРЭС – 2;2. Регулирование частоты в энергосистеме;3. Аналитический расчет значений частоты после выделения Томской ГРЭС – 2 на сбалансированную нагрузку;4. Оценка результатов проведенного исследования;5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;6. Социальная ответственность;7. Заключение.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Нормальная схема электрических соединений Томской ГРЭС – 2, нормальная схема электрических соединений Томской ГРЭС – 2 после срабатывания ЧДА
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Ассистент кафедры менеджмента Грахова Е.А.
Социальная ответственность	Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Амелькович Ю.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	09.02.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Панкратов А.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Песегов Вадим Валерьевич		

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

Студенту:

Группа		ФИО	
5А2Г		Песегов Вадим Валерьевич	
Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭСиЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	В исследовании задействованы два человека: руководитель и студент.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ГОСТ 14.322-83 Нормирование расхода материала. Основные положения; ГОСТ 51541-99 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения. - Минимальный размер оплаты труда (по 2016 году) составляет 6675 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 27,1% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Технико-экономическое обоснование НТИ, SWOT-анализ
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование проведения НТИ, расчет сметы затрат НТИ
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение интегрального показателя финансовой эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. SWOT-анализ
2. Перечень работ
3. Линейный график работ
4. Бюджет проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Песегов Вадим Валерьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5А2Г	ФИО Песегов Вадим Валерьевич
----------------	---------------------------------

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭСиЭ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования)	Рабочее место представляет собой помещение офисного здания. Факторы: – вредные проявления факторов производственной среды (климатические условия, освещение, шумы, электромагнитные излучения); – опасные проявления факторов термического характера, пожарной и взрывной природы (система отопления, ПЭВМ), электрической природы (ПЭВМ, незаземленные части электроустановок).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	<i>ГОСТ 12.1.002-84, ГОСТ 12.1.003-83, ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ, ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ, ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ, ГОСТ 17.4.3.04-85, НПБ 105-03, СанПиН 2.2.4.548-96, СанПиН 2.2.4.723-98</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	Шум; электромагнитное излучение; микроклимат; освещение; опасность поражения электрическим током;
2. Экологическая безопасность	Выделение углекислого газа, сточные воды, твердые и бытовые отходы
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятной ЧС, которая может возникнуть – это стихийное бедствие, военные действия или пожар
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Требования к организации рабочих мест при работе с ПЭВМ
Перечень графического материала:	
-	-

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Юлия Александровна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Песегов Вадим Валерьевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального 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
--

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2016	Раздел 1 Краткая характеристика Томской ГРЭС – 2	
29.03.2016	Раздел 2 Регулирование частоты в энергосистеме	
26.04.2016	Раздел 3 Аналитический расчет значений частоты после выделения Томской ГРЭС – 2 на сбалансированную нагрузку	
29.04.2016	Раздел 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
17.05.2016	Раздел 6 Социальная ответственность	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Панкратов А.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электрических сетей и электротехники	Прохоров А.В.	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 82 с., 3 рис., 27 табл., 17 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: энергосистема, тепловая электростанция, статическая частотная характеристика, частота переменного тока, регулирование частоты, противоаварийная автоматика, регулирующий эффект нагрузки.

Объектом исследования является регулирующий эффект нагрузки при выделении электрической станции на сбалансированную нагрузку.

Цель работы – исследование влияния регулирующего эффекта нагрузки на частоту при выделении Томской ГРЭС – 2 на сбалансированную нагрузку.

В процессе исследования проводились расчеты значений частоты при различных значениях регулирующего эффекта нагрузки.

В результате исследования определена степень влияния регулирующего эффекта нагрузки на частоту после выделения Томской ГРЭС – 2 на сбалансированную нагрузку при двух значениях небаланса мощности.

Степень внедрения: высокая.

Область применения: электрические системы и сети.

Экономическая эффективность работы заключается в повышении бесперебойной работы электрической станции после выделения её на сбалансированную нагрузку.

В будущем планируется провести расчет режимов с учетом частоты в программном комплексе RastrWin 3, сравнить полученные результаты и построить наиболее простую и удобную методику для расчета влияния регулирующего эффекта нагрузки на частоту.

Определения

качество электрической энергии (КЭ): Степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей КЭ.

крутизна статической частотной характеристики (крутизна СЧХ): Коэффициент линеаризованной зависимости суммарной первичной мощности и изменения мощности потребления области регулирования от изменения частоты.

линия электропередачи (ЛЭП): Электроустановка, состоящая из проводов, кабелей, изолирующих элементов, несущих конструкций и предназначенная для передачи электроэнергии между двумя пунктами электроэнергетической системы с возможным промежуточным отбором.

потребитель электрической энергии: Юридическое или физическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (мощностью) на основании заключенного договора.

статизм первичного регулирования: Коэффициент, определяющий зависимость изменения активной мощности генерирующего оборудования под воздействием регулятора частоты вращения турбины (регулятора мощности) от изменения частоты.

установившийся режим работы энергосистемы: Режим работы энергосистемы, при котором параметры режима (напряжение, ток, частота, активная мощность) могут приниматься неизменными.

энергетическая система (ЭС): Совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства, передачи, преобразования и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этими режимами.

Обозначения и сокращения

АОПЧ – автоматика ограничения повышения частоты;

АОСЧ – автоматика ограничения снижения частоты;

АРЧМ – автоматическое регулирование частоты и потоков активной мощности;

АЧР – автоматическая частотная разгрузка;

АЭС – атомная электростанция;

ГРЭС – государственная районная электрическая станция;

ГЭС – гидроэлектростанция;

ДАР – дополнительная автоматическая разгрузка;

ЕЭС России – Единая энергетическая система России;

НПРЧ – нормированное первичное регулирование;

ОПРЧ – общее первичное регулирование;

ТЭС – тепловая электростанция;

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

ЧАПВ – частотное автоматическое повторное включение;

ЧДА – частотная делительная автоматика;

Оглавление

Введение.....	14
1 Краткая характеристика Томской ГРЭС-2.....	15
2 Регулирование частоты в энергосистеме	19
2.1 Автоматическое регулирование частоты и активной мощности в ЭС .	19
2.1.1 Первичное регулирование частоты	22
2.1.2 Вторичное регулирование частоты.....	24
2.1.3 Третичное регулирование частоты	25
2.2 Противоаварийная автоматика для ограничений повышения и снижения частоты	26
2.2.1 Автоматика ограничения снижения частоты	26
2.2.2 Автоматика ограничения повышения частоты	29
3 Аналитический расчет значений частоты Томской ГРЭС-2.....	31
3.1 Создание модели для расчета значений частоты	31
3.2 Расчет значений частоты Томской ГРЭС-2 при выделении на сбалансированную нагрузку	36
3.2.1 Исходный установившийся режим.....	36
3.2.2 Новый установившийся режим после выделения Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку	36
3.2.3 Установившийся режим после выделения Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку при отключении одного наиболее нагруженного присоединения.....	43
4 Оценка результатов проведенного исследования	46
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .	48
5.1 Технико-экономическое обоснование научно-технического исследования.....	48
5.2 Планирование проведения НТИ	50
5.2.1 Составление перечня работ	50
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	51
5.2.3 Разработка графика проведения научно-технического исследования..	52
5.3 Смета затрат на проведение НТИ	55
5.3.1 Материальные затраты.....	55
5.3.2 Амортизационные отчисления.....	55
5.3.3 Расходы на оплату труда.....	56
5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	58
5.3.5 Накладные расходы.....	58

5.3.6	Формирование сметы НТИ.....	59
5.4	Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.....	59
6	Социальная ответственность	62
6.1	Производственная безопасность.....	62
6.1.1	Анализ вредных и опасных факторов	62
6.1.2	Повышенный уровень шума.....	63
6.1.3	Электромагнитное излучение.....	64
6.1.4	Микроклимат	65
6.1.5	Освещение	67
6.1.6	Электрический ток.....	68
6.2	Экологическая безопасность	69
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
6.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	74
	Заключение	77
	Список использованной литературы.....	79
	Приложение А	81
	Приложение Б	82

Введение

Томская ГРЭС-2 принадлежит акционерному обществу «Томская генерация» (АО «Томская генерация»). Согласно отчетам по выработке электрической энергии за 2015 год ТЭЦ, принадлежащими АО «Томская генерация» произведено 1295 млн. кВт·ч электроэнергии, причем 61,2% из данного значения пришлось на Томскую ГРЭС-2. Таким образом, Томской ГРЭС-2 за 2015 год было произведено 792,3 млн. кВт·ч. Данные цифры говорят о большом вкладе в электроснабжение города Томска.

Одним из наиболее важных показателей качества электрической энергии является частота переменного тока в энергосистеме, так как от данного фактора зависят как производительность промышленных предприятий, так и производительность самих электрических станций, а также устойчивость работы механизмов электрических станций и промышленных предприятий.

За всю историю работы Томской ГРЭС-2, после установки на ней частотной делительной автоматики (ЧДА), не происходило снижения частоты до такого уровня чтобы она в результате срабатывания ЧДА выделялась на сбалансированную нагрузку. Так как в ЕЭС России большинство мощных электрических станций имеют уже очень большой срок эксплуатации, в современных условиях аварийное отключение большого числа генерирующего оборудования имеет довольно большую вероятность. Таким образом в системе образуется быстрое и глубокое снижение частоты, что приведет в конечном итоге к разбиению ЕЭС на изолированно работающие системы. Какое влияние при этом окажет регулирующий эффект нагрузки на значение частоты в выделившейся Томской ГРЭС-2 и окажет ли вообще ранее не рассматривалось. Именно этим обусловлена актуальность данного научно технического исследования.

1 Краткая характеристика Томской ГРЭС-2

В 1943 году в город Томск было эвакуировано 34 предприятия, для работы которых требовалась электроэнергия. Существующей мощности ТЭЦ-1 было недостаточно. Вся электроэнергия отдавалась для нужд военной промышленности. Поэтому Государственный Комитет Обороны решением №31860 от 14 апреля 1943 года утвердил необходимым в кратчайший срок построить новую электростанцию Томскую ГРЭС-2, строительство которой было начато с марта 1943 года. Оборудование для электростанции поставлялось английскими фирмами. В итоге Томская ГРЭС-2 была пущена в эксплуатацию 28 мая 1945 года. Это была конденсационная станция, состоящая из одного турбогенератора мощностью 12,5 тыс. кВт и 2-х котлов среднего давления паропроизводительностью по 60 т/час.

В конце 40-х годов город снова стал ощущать нехватку электроэнергии. Развитие промышленности сдерживалось дефицитом мощностей. Для решения этой проблемы было принято решение расширить ГРЭС-2 за счет установки котла №3 среднего давления паропроизводительностью 110 т/час и турбины мощностью 25000 кВт. Пуск второй очереди состоялся в январе 1952 года. Для охлаждения циркуляционной воды была построена градирня и насосная станция на берегу реки Томь для подачи на ГРЭС-2 технической воды.

В дальнейшем было начато строительство третьей очереди Томской ГРЭС-2, которая состояла из турбогенератора ст. №3, мощностью 50000 кВт и двух котлов ст. №4 и 5 типа ТП-230-2. Пуск блока высокого давления состоялся в 1953 году.

Дальнейшее расширение станции проходило за счет 4 очереди. Строительство которой было начато в 1956 году. Пуск агрегатов 4 очереди проходил в следующие сроки:

Турбоагрегат ст. №5 мощностью 50 тыс. кВт в августе 1958 года.
Котлоагрегат ст. №6 типа ТП-230-2 в сентябре 1958 года.

Турбоагрегат ст. №6 мощностью 25 тыс. кВт типа ВПТ-25-3 в июне 1959 года.

Бойлерная установка ст. №2 тепловой мощностью 80 Гкал в октябре и котел ст. №7 типа ТП-230-2 в сентябре 1959 года.

В декабре 1959 года был опробован в работе после монтажа турбоагрегат ст. №4 мощностью 12 тыс. кВт, типа ВР-12-31-2, противоаварийная турбина.

В июле 1960 года был пущен в работу турбоагрегат ст. №7 типа ВПТ-50-2 мощностью 60 тыс. кВт в комплексе с генератором типа ТВ-60-2, в ноябре котел ст. №8 типа ТП-230-2.

В это время была смонтирована бойлерная ст. №3 тепловой мощностью 120 гкал/час и турбоагрегаты ст. №6, 7 теплофикационного типа кроме выработки электрической энергии начали снабжать город теплой водой. В 1960 году было закончено расширение 4 очереди Томской ГРЭС-2.

В связи с развитием южной части города Томска было решено добиться получения большего количества теплоэнергии не расширяя станцию установкой новых теплофикационных турбоагрегатов, а выполнить модернизацию существующих турбин с установкой сетевых подогревателей, реконструкцией тепловой схемы станции и монтажом дополнительно нового котла ст. №9.

В 2000 г. агрегаты № 2 и № 4 выведены из эксплуатации, а в 2009 году введена на месте агрегата № 2 турбина типа Т-50/60-8.8 с генератором ТФ-63-2УЗ мощностью 50 МВт и мощность электростанции составила 331 МВт, располагаемая – 331 МВт. [1]

Основным видом топлива на ГРЭС-2 является уголь. До 1980 года станция работала на одном угле. В конце 80-х на ГРЭС-2 был пущен газ, и три котла стали работать исключительно на газе. В настоящее время на станции используется как газ, так и уголь: уголь в качестве топлива, газ для розжига.

Потребителями электроэнергии являются заводы: «Эмальпровод», «Томский Инструментальный Завод», «Сибмотор», а также небольшие городские предприятия и частный сектор. Отпуск электроэнергии осуществляется по линиям 35 и 10 кВ. Напряжения для собственных нужд

составляет 0,6, 3 и 6 кВ. Нормальная схема электрических присоединений Томской ГРЭС-2 приведена в приложении А данной работы.

Связь станции с энергосистемой осуществляется посредством двух линий 110 кВ С-1 и С-2, соединяющих Томскую ГРЭС-2 с подстанцией 220 кВ Восточная, а также линий С-3 и С-4, соединяющих Томскую ГРЭС-2 с подстанцией 220 кВ Зональная.

Ниже приведены таблицы 1.1 и 1.2 с данными турбогенераторов, установленных на Томской ГРЭС-2, а также силовых трансформаторов.

Таблица 1.1 – Турбины и генераторы, установленные на Томской ГРЭС-2 по данным на 2009 год

Электростанция (диспетчерское наименование)	Энергоблок, агрегат (диспетчерское наименование)	Тип турбины	Тип генератора	Установленная мощность	P_{\min}
Томская ГРЭС-2 ($P_{\text{уст}}=331$ МВт)	ТГ - 2	Т-50/60-8,8	ТФ-63-2У3	50	10
	ТГ - 3	Т-43-90-2М	ТВ-50-2	43	20
	ТГ - 5	Т-43-90-2М	ТВ-50-2	43	20
	ТГ - 6	ПТ-25-90/10	ТВ2-30-2	25	18
	ТГ - 7	ПТ-60-90/13	ТВ-60-2	60	25
	ТГ - 8	Т-118/125-130-8	ТФП-110-2У3	110	40

Таблица 1.2 – Силовые трансформаторы, установленные на Томской ГРЭС-2

Электростанция (диспетчерское наименование)	Номер трансформатора (диспетчерское наименование)	Год ввода в эксплуатацию	Тип охлаждения	Номинальная мощность	Напряжение обмотки ВН	Напряжение обмотки СН	Напряжение обмотки НН
Томская ГРЭС-2 (Руст=331 МВт)	Т - 22	2008	ДЦ	80	115	38,5	10,5
	Т - 23	1957	Д	60	121	38,5	10,5
	Т - 25	1983	Д	63	115	38,5	10,5
	Т - 27	2006	ДЦ	80	121	-	10,5
	Т - 28	1997	ДЦ	125	121	-	10,5

Таким образом, можно сделать вывод, что Томская ГРЭС-2 несет большое стратегическое значения для города и ЕЭС в целом. При аварии или предельных отклонениях частоты, при останове турбоагрегатов без электроснабжения останется частный сектор, остановится производство предприятий, что приводит к недоотпуску продукции и соответственно к потере прибыли.

2 Регулирование частоты в энергосистеме

2.1 Автоматическое регулирование частоты и активной мощности в ЭС

Одним из главных показателей качества электрической энергии, вырабатываемой генераторами электростанций и поставляемой потребителям, является частота переменного электрического тока. От этого показателя зависит частота вращения электродвигателей, а, следовательно, и производительность вращаемых ими механизмов (станков, насосов, вентиляторов и т.д.). При понижении частоты их производительность снижается. Повышение же частоты приводит к перерасходу электроэнергии. Таким образом, ущерб народному хозяйству наносит всякое отклонение частоты от номинального значения. Поэтому, а также по ряду других важных причин, частота переменного тока нормируется.

Номинальное значение частоты переменного тока в ЕЭС России составляет 50 Гц и согласно ГОСТ 32144-13 отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать $\pm 0,2$ Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и $\pm 0,4$ Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю. [2]

Выработка и потребление активной мощности происходит одновременно. Поэтому в нормальном режиме активная мощность, вырабатываемая генераторами электростанций P_G , должна быть равна сумме мощности, потребляемой нагрузкой потребителей, $P_{П.Н}$ и мощности, расходуемой на потери в проводах линий электропередачи и других элементах электрической сети, $P_{П.С}$, т.е.

$$P_G = P_{П.Н} + P_{П.С}, \quad (2.1)$$

где $P_{П.Н} + P_{П.С} = P_H$ - суммарная нагрузка на генераторы.

Следовательно, формула (2.1) преобразуется следующим видом:

$$P_G = P_H. \quad (2.2)$$

Данное равенство определяет условие баланса выработки и потребления мощности, при соблюдении которого частота остается неизменной. Однако нагрузка энергосистемы, которая в каждый момент времени зависит от количества включенных потребителей и их нагрузки, практически не остается постоянной, а непрерывно изменяется, что приводит к нарушению баланса.

График суммарного электропотребления заранее не известен, он может лишь более или менее точно прогнозироваться. Действительный график нагрузки всегда несколько отличается от прогнозируемого. Существенно снизить отклонения от прогнозируемого графика нагрузки и повысить точность прогнозов позволяют обобщение статистических данных и применение математических методов.

К основным причинам непостоянства частоты в энергосистеме можно отнести:

1) фактический график электропотребления в силу ряда причин всегда отличается от прогнозируемого;

2) график рассчитывается для конечных интервалов времени, обычно часовых, мощность нагрузки потребителей же изменяется непрерывно. Следовательно, внутри интервалов неизбежны несовпадения;

3) нагрузка электростанций в соответствии с заданным графиком может быть изменена лишь с определенной скоростью, обусловленной технологическими особенностями современных электростанций. В периоды резких изменений электропотребления отдельные электростанции не успевают изменять нагрузку с той же скоростью, с которой изменяется нагрузка потребителей, что служит причиной временных нарушений баланса.

4) суммарная мощность как потребителей, так и генераторов электростанций в любой момент может измениться в силу непредвиденных обстоятельств (аварийные отключения линий электропередачи, трансформаторов, генераторов).

Таким образом, в отдельные периоды отклонения частоты могут быть существенными, в особенности они возрастают в часы переменной части

графика электропотребления. Для поддержания частоты с требуемой точностью необходимо постоянно устранять отклонения частоты, обусловленные отклонением потребляемой или генерируемой мощности от запланированного графика нагрузки.

Для поддержания частоты и других режимных параметров, в частности перетоков мощности, изменяющихся из-за отличия фактических нагрузок от плановых, осуществляется регулирование внеплановых нагрузок, путем соответствующего воздействия на мощность выделенных для регулирования электростанций. [3]

При автоматическом регулировании режима по частоте и активной мощности системы регулирования, в частности системы вторичного регулирования, вырабатывают для выделенных электростанций задание на изменение внеплановой мощности, так как основная плановая часть устанавливается по диспетчерскому графику. Современные методы регулирования частоты и мощности ориентированы на структуру современных больших энергосистем.

Основные требования к регулированию режима по частоте и активной мощности приведены в стандарте организации ОАО РАО «ЕЭС России» по регулированию частоты и перетоков в ЕЭС России и изолированно работающих энергосистемах России [4].

Наиболее важные из них представлены ниже:

- Частота электрического тока в нормальном режиме работы должна быть номинальной – 50 Гц с отклонениями не более $\pm 0,05$ Гц (нормально допустимые) и кратковременно не более $\pm 0,2$ Гц (максимально допустимые). При этом восстановление отклонений частоты до нормально допустимых должно обеспечиваться за время не более 15 минут.

- Перетоки мощности в основной сети ЕЭС не должны выходить за пределы установленных допустимых перетоков.

- Суммарные обменные мощности между отдельными энергосистемами (сальдо перетоков мощности по внешним связям) при

номинальной частоте должны соответствовать заданным с необходимой точностью, а внутри отдельных энергосистем мощности электростанций должны соответствовать заданным.

– При нарушении баланса мощности из-за возмущения, возникающего в какой-либо части энергосистемы, процесс регулирования должен обеспечить переход к условиям нормальной работы с определенной динамикой и определенным участием в регулировании отдельных энергосистем и электростанций.

Выполнение этих требований обеспечивается комплексом технических и организационных мероприятий, среди которых принято выделять три вида регулирования: первичное регулирование, вторичное регулирование, третичное регулирование.

2.1.1 Первичное регулирование частоты

Под первичным регулированием частоты понимают процесс мобилизации первичной регулирующей мощности электрической станции и энергосистем при возникновении небаланса мощности, заканчивающийся балансом мощности при новом значении частоты. Процесс изменения мощности электростанций осуществляется первичными регуляторами [3].

Первичное регулирование частоты разделяют на ОПРЧ и НПРЧ. Основным отличием между этими двумя типами первичного регулирования частоты является то, что в ОПРЧ участвуют абсолютно все электрические станции в меру своих возможностей, в НПРЧ же участвуют только специально выделенные электростанции. К обоим видам регулирования согласно стандарту организации ОАО РАО «ЕЭС России» по регулированию частоты и перетоков в ЕЭС России и изолировано работающих энергосистемах России предъявляются свои требования [4]. Так как Томская ГРЭС-2 это тепловая электрическая станция, рассмотрим требования только к тепловым электростанциям.

Требования, предъявляемые к ОПРЧ:

– Все электростанции ЕЭС и изолированно работающих энергосистем России должны участвовать в ОНРЧ. Обязательность участия обусловлена необходимостью готовности каждой электростанции к аварийному регулированию частоты с максимальным использованием регулировочных возможностей;

– Совокупность энергетического и вспомогательного оборудования, технологической автоматики энергоблока, электростанции, используемые режимы их эксплуатации должны позволять в пределах установленного регулировочного диапазона нагрузок поддерживать диапазон первичного регулирования (ДПР) величиной до 20% номинальной мощности;

– На тепловых электрических станциях готовых к общему первичному регулированию зона нечувствительности системы первичного регулирования не должна превышать 0,15 Гц, а величина статизма по мощности за пределами зоны нечувствительности должна лежать в диапазоне 4-6 %.

Требования, предъявляемые к ННРЧ:

– К использованию в нормированном первичном регулировании могут привлекаться гидравлические, гидроаккумулирующие, тепловые, атомные электрические станции, удовлетворяющие требованиям ННРЧ, установленным стандартами ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС»;

– Заданный для ЕЭС первичный резерв P_p распределяется Системным оператором между выделенными для участия в ННРЧ электростанциями (для блочных электростанций - между энергоблоками). Каждой электростанции, энергоблоку задаются: величина первичного резерва на загрузку и разгрузку, величина мёртвой полосы системы первичного регулирования, величина отклонения частоты полной мобилизации резерва (либо соответствующая ей величина статизма системы первичного регулирования электростанции, энергоблока).

Таким образом можно сделать вывод, что первичное регулирование частоты в энергосистеме необходимо для предотвращения критического

снижения частоты в первоначальный момент времени и удержания её на определенном уровне.

Томская ГРЭС-2 участвует только в общем первичном регулировании.

2.1.2 Вторичное регулирование частоты

Вторичное регулирование частоты – это процесс использования вторичной регулирующей мощности для восстановления значений частоты до номинальных или нормально допустимых значений, для восстановления резервов первичной регулирующей мощности, потраченной при первичном регулировании частоты, для ликвидации возможной перегрузки транзитных связей и поддержания плановых обменов мощностью. Вторичное регулирование необходимо для восстановления режима после стадии первичного регулирования.

Вторичное регулирование частоты в энергосистеме может осуществляться оперативно в ручную либо автоматически с помощью систем АРЧМ.

Согласно стандарту организации ОАО РАО «ЕЭС России» по регулированию частоты и перетоков в ЕЭС России и изолировано работающих энергосистемах круглосуточно, непрерывно должно осуществляться вторичное регулирование путем регулирования частоты либо регулирования суммарного межгосударственного перетока с коррекцией по частоте, а также ограничение перетоков по транзитным связям.

Текущее значение небаланса мощности в области регулирования определяется путём сопоставления фиксируемого текущего отклонения обменной мощности от планового значения (ошибки регулирования перетока) с частотной коррекцией (ошибкой регулирования частоты), характеризующей нормированное участие области в первичном регулировании частоты. При нарушении баланса за пределами области регулирования ошибка регулирования перетока обусловлена выдачей первичной мощности из области и потому (при правильно заданном коэффициенте частотной коррекции) равна ошибке

регулирования частоты, или частотной коррекции. Собственный небаланс равен нулю, вторичного регулирования не требуется. При нарушении баланса в области регулирования ошибка регулирования перетока обусловлена приёмом первичной мощности извне, в то время как ошибка регулирования частоты по-прежнему равна первичной мощности, мобилизованной в области. Суммирование значения внешней первичной мощности (ошибки регулирования перетока) с расчётным значением внутренней первичной мощности (ошибки регулирования частоты) позволяет оценить значение собственного небаланса мощности. Вторичное регулирование должно быть направлено на компенсацию собственного небаланса за счёт собственных вторичных резервов [4].

Средствами вторичного регулирования режима должно, как правило, обеспечиваться:

- поддержание средней частоты за любые 0,5 часа суток в пределах $50 \pm 0,01$ Гц в целях преимущественного удержания текущей частоты в пределах полосы регулирования $50 \pm 0,02$ Гц для предотвращения излишнего запуска нормированного первичного регулирования частоты в нормальных условиях;
- совместно с нормированным первичным регулированием частоты - удержание текущей частоты в пределах $50 \pm 0,05$ Гц (нормальный уровень) и в пределах $50 \pm 0,2$ Гц (допустимый уровень) с восстановлением нормального уровня частоты и заданных суммарных внешних перетоков мощности областей регулирования за время не более 15 минут для согласования отклонений частоты с планируемыми запасами пропускной способности транзитных сетей ЕЭС в нормальных условиях.

Во вторичном регулировании Томская ГРЭС – 2 не участвует.

2.1.3 Третичное регулирование частоты

Для поддержания заданных величин вторичных резервов, их восстановления по мере использования в процессе регулирования во всех областях регулирования и ограничения должно осуществляться третичное

регулирование, создаваться третичный резерв (на разгрузку и загрузку электростанций).

В качестве третичного резерва для восстановления регулировочных возможностей первичного и вторичного регулирования должны использоваться:

- пуск-останов резервных гидрогенераторов;
- пуск-останов, перевод в генераторный или насосный режим агрегатов гидроаккумулирующих электростанций;
- загрузка (разгрузка) энергоблоков ТЭС и ТЭЦ;
- загрузка (разгрузка) агрегатов парогазовых установок;
- отключение (включение) потребителей с управляемой нагрузкой;
- загрузка (разгрузка) газомазутных энергоблоков;
- изменение значений плановых перетоков;
- загрузка (разгрузка) энергоблоков АЭС.

Третичное регулирование осуществляется с помощью систем АРЧМ или вручную оперативным персоналом.

Также, как и во вторичном в третичном регулировании Томская ГРЭС-2 не участвует.

2.2 Противоаварийная автоматика для ограничений повышения и снижения частоты

Для предотвращения нанесения вреда электрооборудованию и ущерба народному хозяйству в результате недопустимых отклонений частоты применяют противоаварийную автоматику для ограничения снижения или повышения частоты.

2.2.1 Автоматика ограничения снижения частоты

Автоматика ограничения снижения частоты (АОСЧ) предназначена для предотвращения недопустимого по условиям устойчивой работы генерирующего оборудования и энергопринимающих установок потребителей

электрической энергии снижения частоты и полного погашения энергосистемы или ее части при возникновении дефицита активной мощности, в том числе при аварийном выделении энергосистемы или ее части на изолированную работу [5].

АОСЧ должно прекращать процесс аварийного снижения частоты и обеспечивать подъем частоты до уровня, при котором энергосистема может работать продолжительное время, т.е. выше 49 Гц, а также частично или полностью восстанавливать питание потребителей при нормализации значения частоты.

Настройка устройств, входящих в АОСЧ, должна быть такой, чтобы глубина и длительность цикла снижения и подъема частоты не приводили к нарушению технологического режима работы ТЭС.

Исходя из этих требований АОСЧ должна выполняться на основании следующих расчетных условий работы энергосистемы:

- с частотой ниже 49,0 Гц – не более 40 с;
- с частотой ниже 47,0 Гц – не более 10 с;
- с частотой ниже 46,0 Гц – не допускается.

К автоматике АОСЧ относят следующие виды автоматик согласно техническим правилам организации автоматического ограничения снижения частоты при аварийном дефиците мощности. [6]

1. Автоматический частотный ввод резерва (АЧВР). Устройства, относящиеся к АЧВР предназначены для ликвидации появившегося дефицита активной мощности, тем самым исключая или уменьшая объем отключаемых потребителей электрической энергии. АЧВР работает в следующем диапазоне уставок по частоте от 49,4 до 49,7 согласно ГОСТ Р 55105-12 [5].

2. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) предназначена для предотвращения недопустимого по условиям устойчивой работы генераторов и электроприемников снижения частоты и её последующего восстановления до номинального или нормально допустимого значения.

Функционально АЧР разделяется на:

- а) АЧР-1 предназначенную для прекращения снижения частоты;

б) АЧР-2 предназначенную для восстановления частоты после действия устройств АЧР-1 или при медленном снижении частоты.

Уставки по частоте устройств АЧР-1 должны находиться в диапазоне от 46,5 до 48,8 Гц, а для устройств АЧР-2 от 48,7 до 49,1 Гц [5].

Уставки по времени устройств АЧР-1 должны находиться в диапазоне от 0,15 до 0,3 секунд, а для устройств АЧР-2 от 5 до 70 секунд [5].

3. Дополнительная автоматическая разгрузка (ДАР) необходима для обеспечения эффективной работы АЧР-1. Установка устройств ДАР возможна в случае если в энергосистеме может возникнуть дефицит активной мощности в размере 45% мощности нагрузки потребителей энергосистемы и скорости снижения частоты более 1,8 Гц/с.

4. Частотная делительная автоматика (ЧДА) применяется в случае неэффективности действия АЧР и предназначена для предотвращения полного останова ТЭС при недопустимом снижении частоты в энергосистеме.

Устройства ЧДА должны действовать на деление системы в целях выделения ТЭС или их энергоблоков (генераторов) на питание собственных нужд и групп потребителей, не допускающих перерывов в электроснабжении, с обеспечением устойчивой работы выделяемого генерирующего оборудования. При выделении электростанции (энергоблока) на примерно сбалансированную нагрузку предпочтительным является образование небольшого избытка генерирующей мощности и повышение частоты.

При выделении энергоблока ТЭС на собственные нужды действием ЧДА должна обеспечиваться устойчивая работа выделяемого генерирующего оборудования в течение не менее 30 мин [5].

Уставки срабатывания устройств ЧДА по частоте и времени должны находиться в диапазоне:

- 1-я ступень: от 46,0 до 47,0 Гц / от 0,3 до 0,5 с;
- 2-я ступень: от 47,0 до 47,5 Гц / от 30 до 40 с.

5. Частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ) предназначено для включения потребителей отключенных действием устройств АЧР в процессе восстановления частоты.

Устройства ЧАПВ должны действовать на включение нагрузки потребителей электрической энергии очередями в диапазоне частот от 49,4 до 49,8 Гц [5].

Настройка и выбор объема очереди ЧАПВ должны исключать повторное срабатывание АЧР при действии ЧАПВ.

На Томской ГРЭС-2 среди рассмотренных автоматик установлены АЧР-1 и АЧР-2 не совмещенная, а также ЧДА.

2.2.2 Автоматика ограничения повышения частоты

Автоматика ограничения повышения частоты (АОПЧ) предназначена для предотвращения недопустимого повышения частоты в энергосистеме до уровня, при котором возможно срабатывание автоматов безопасности турбин ТЭС и АЭС. [5]

Аварийный избыток активной мощности ликвидируется устройствами АОПЧ за счет отключения генераторов и деления системы. С целью предотвращения выхода блоков ТЭС или АЭС за регулировочный диапазон возможна разгрузка части блоков до нагрузки холостого хода

Устройства АОПЧ должны устанавливаться на ТЭС, АЭС и ГЭС, расположенных в частях энергосистемы, выделение на изолированную работу которых возможно с большим избытком мощности, приводящим к повышению частоты более 53,0 Гц, с учетом действия первичного регулирования частоты.

Уставки устройств АОПЧ по частоте должны находиться в диапазоне от 51,0 до 53,0 Гц.

С целью предотвращения недопустимого повышения частоты на тепловых электростанциях, которые могут оказаться работающими параллельно с гидроэлектростанциями значительно большей мощности, должны применяться

устройства автоматики, действующие при повышении частоты выше 52-53 Гц на отключение части генераторов ГЭС.

Томская ГРЭС-2 не оснащена устройствами автоматического отключения турбоагрегатов при повышении частоты.

3 Аналитический расчет значений частоты Томской ГРЭС-2

3.1 Создание модели для расчета значений частоты

Рассмотрим следующую последовательность событий. На первом этапе Томская ГРЭС-2 работает в нормальном установившемся режиме. Затем, в результате аварии во внешней сети, начинается быстрое и глубокое снижение частоты до уставки срабатывания ЧДА, равной 47 Гц. На станции отработывает АЧР и отключает часть нагрузки. Томская ГРЭС-2 в результате срабатывания ЧДА выделяется на сбалансированную нагрузку. В данном исследовании будет рассмотрен один из алгоритмов срабатывания ЧДА.

Предметом исследования является значение частоты изолированно работающей Томской ГРЭС-2 в новом установившемся режиме. Переходные процессы и вопросы динамической устойчивости при этом рассматриваться не будут.

Количественно показать реакцию системы на изменение частоты можно при помощи результирующего коэффициента крутизны статической частотной характеристики энергосистемы k_f . Коэффициент k_f зависит от коэффициентов крутизны статических характеристик всех турбоагрегатов и коэффициентов регулирующего эффекта нагрузки энергосистемы $k_{\text{нф}}$.

Согласно стандарту организации ОАО РАО «ЕЭС России» СТО 59012820.27.100.003-2012 для ТЭС, участвующих в общем первичном регулировании, значение коэффициента статизма характеристик регуляторов турбин лежит в пределах 0,04 – 0,05 (4 – 5%). [4] Коэффициент крутизны статической характеристики величина обратная коэффициенту статизма, т.е.

$k_{\text{тф}} = \frac{1}{0,05} = 20$. Однако существует ряд причин, по которым коэффициент крутизны статической характеристики генератора не равен коэффициенту крутизны статической характеристики регулятора турбины. А именно:

– Влияние зоны нечувствительности регуляторов частоты вращения турбины и случайное положение рабочей точки в зоне нечувствительности;

– При выходе на границы регулирования мощности максимальной или минимальной у какого либо агрегата, при изменении частоты их мощность не изменится, т.е. $k_{\Gamma f_i} = 0$;

– При изменении частоты мощность генерирующей части энергосистемы изменяется в два этапа. На первом этапе, в начальной стадии процесса, при изменении частоты подается сигнал на изменение положения регулирующих клапанов, изменяется подача пара в турбину в результате чего изменяется мощность турбины. На втором этапе в результате изменения частоты изменяется паропроизводительность котельных агрегатов, из-за этого уменьшается изменение мощности. Поэтому коэффициент крутизны статической частотной характеристики генерирующей части энергосистемы, после реакции тепловой части может быть значительно меньше чем в начальной стадии процесса.

Приняв во внимание факторы, приведенные выше, примем коэффициент крутизны статической частотной характеристики турбоагрегата после реакции тепловой части $k_{\Gamma f_i} = 5$.

Если в регулировании частоты участвуют множество турбоагрегатов, то для определения k_f необходимо найти эквивалентный коэффициент крутизны статической характеристики генерации. В данном случае все турбоагрегаты участвуют в регулировании частоты в равной степени, поэтому эквивалентный коэффициент крутизны статической характеристики генерации равен $k_{\Gamma f} = k_{\Gamma f_i} = 5$.

Коэффициент регулирующего эффекта нагрузки рассчитывается в соответствии с составом нагрузки. Не все потребители одинаково реагируют на изменение частоты, в связи с этим их разбивают на пять групп:

– Нулевая группа. К нулевой группе относят потребителей, мощность которых не зависит от частоты, например, лампы накаливания, нагревательные приборы и выпрямительные установки.

$$P_0 = P_{\text{НОМ}0} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{НОМ}}}\right)^0, \quad (3.1)$$

где $P_{\text{НОМ}0}$ - номинальная мощность оборудования нулевой группы,

f_1 - текущее значение частоты в энергосистеме,

$f_{\text{НОМ}}$ - номинальное значение частоты в энергосистеме.

– Первая группа. К первой группе относятся потребители, мощность которых зависит от частоты в первой степени, например, металлорежущие станки, мельницы, поршневые насосы и компрессоры.

$$P_1 = P_{\text{НОМ}1} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{НОМ}}}\right)^1, \quad (3.2)$$

– Вторая группа. К данной группе относят потребителей, чья мощность зависит от квадрата частоты.

$$P_2 = P_{\text{НОМ}2} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{НОМ}}}\right)^2, \quad (3.3)$$

– Третья группа. Мощность потребителей третьей группы пропорциональна частоте в третьей степени. К данной группе можно отнести центробежные насосы и вентиляторы с небольшой величиной статического напора.

$$P_3 = P_{\text{НОМ}3} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{НОМ}}}\right)^3, \quad (3.4)$$

– Четвертая группа. К четвертой группе относят потребителей, мощность которых зависит от частоты в четвертой и более степени, например, насосы с большим статическим напором сопротивления такие как питательные насосы котлов.

$$P_4 = P_{\text{НОМ}4} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{НОМ}}}\right)^4, \quad (3.5)$$

Нагрузка всей энергосистемы составляется из потребителей каждой группы, т.е. получаем формулу для мощности нагрузки при текущем значении частоты f_1 :

$$P_H = a_0 P_{\text{НОМ}0} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{НОМ}}}\right)^0 + a_1 P_{\text{НОМ}1} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{НОМ}}}\right)^1 + a_2 P_{\text{НОМ}2} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{НОМ}}}\right)^2 +$$

$$+ a_3 P_{\text{НОМ}3} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{НОМ}}}\right)^3 + a_4 P_{\text{НОМ}4} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{НОМ}}}\right)^4, \quad (3.6)$$

где a_i - доля участия i группы в суммарной нагрузке.

Определим изменение потребления при небольших отклонениях частоты.

Т.к. $f_1 \cong f_{\text{НОМ}}$, то уравнение (3.6) преобразуется следующим образом:

$$\frac{\Delta P}{\Delta f} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{f_{\text{НОМ}}} \cdot (a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 4a_4), \quad (3.7)$$

Или в относительных единицах:

$$\frac{\Delta P^*}{\Delta f^*} = k_{\text{Hf}} = (a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 4a_4), \quad (3.8)$$

На значение крутизны частотной характеристики энергосистемы оказывают влияние как реакция генерации на изменение частоты, так и реакция нагрузки. В результате возникающий в системе небаланс мощности ΔP в новом установившемся режиме компенсируется суммой изменения мощности генерации и изменения мощности нагрузки.

$$\Delta P = \Delta P_{\Gamma} + \Delta P_{\text{H}}, \quad (3.9)$$

Изменение мощности генерации и нагрузки в свою очередь определяется следующими формулами:

$$\Delta P_{\Gamma} = -\Delta f^* \cdot k_{\Gamma f} \cdot P_{\text{ГНОМ}}, \quad (3.10)$$

$$\Delta P_{\text{H}} = \Delta f^* \cdot k_{\text{Hf}} \cdot P_{\text{H}0}, \quad (3.11)$$

где $P_{\text{ГНОМ}}$ - номинальная мощность всех генераторов Томской ГРЭС-2, $P_{\text{H}0}$ - суммарная мощность нагрузки.

Знак минус в уравнении (3.10) говорит о том, что при увеличении частоты мощность агрегата уменьшается, а при уменьшении, наоборот – увеличивается.

Также $k_{\Gamma f}$ следует считать отрицательным, так как при $\Delta f^* > 0$, $\Delta P_{\Gamma} < 0$ и наоборот. Подставив равенства (3.10) и (3.11) в (3.9) получим:

$$\Delta P = \Delta f^* \cdot (k_{\Gamma f} \cdot P_{\text{ГНОМ}} + k_{\text{Hf}} \cdot P_{\text{H}0}), \quad (3.12)$$

Вынесем за скобки P_{H0} :

$$\Delta P = \Delta f_* \cdot P_{H0} \cdot (k_{Гf} \cdot \rho + k_{Hf}), \quad (3.13)$$

где $\rho = \frac{P_{ГНОМ}}{P_{H0}}$ - коэффициент резерва

Т.к. отношение $\frac{\Delta P}{P_{H0}} = \Delta P_*$ дает нам изменение мощности в относительных

единицах, то получим результирующий коэффициент крутизны частотной статической характеристики энергосистемы:

$$k_f = \frac{\Delta P_*}{\Delta f_*} = k_{Гf} \cdot \rho + k_{Hf}, \quad (3.14)$$

Теперь выведем формулу для определения текущего значения частоты. Из формулы (3.14) мы видим что $\Delta f_* = \frac{\Delta P_*}{k_f}$. Изменение частоты в относительных

единицах представляется как отношение изменения частоты к номинальному значению частоты, т.е. $\Delta f_* = \frac{\Delta f}{f_{НОМ}}$. Изменение частоты это разница между

текущим и номинальным значением частоты $\Delta f = f_1 - f_{НОМ}$. Таким образом, подставляя вышеприведенные уравнения в (3.15), получим формулу для вычисления текущего значения частоты:

$$f_1 = \frac{\Delta P \cdot f_{НОМ}}{P_{H0} \cdot k_f} + f_{НОМ}, \quad (3.15)$$

Согласно полученным формулам рассмотрим два случая: нормальный установившийся режим после выделения Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку, установившийся режим после выделения Томской ГРЭС-2 при отключении одного наиболее нагруженного присоединения.

3.2 Расчет значений частоты Томской ГРЭС-2 при выделении на сбалансированную нагрузку

3.2.1 Исходный установившийся режим

Изображение нормальной схемы электрических соединений Томской ГРЭС-2 приведено в приложении А. В нормальном режиме передача электрической энергии осуществляется с трех шин: 110, 35 и 10 кВ. Связь с энергосистемой осуществляется посредством 4 ЛЭП 110 кВ, это линии С-1 и С-2 связывающие Томскую ГРЭС-2 и подстанцию 220 кВ Восточная, а также линии С-3 и С-4 связывающие Томскую ГРЭС-2 и подстанцию 220 кВ Зональная.

Рассмотрим режим работы, предшествующий снижению частоты в энергосистеме. Величина нагрузки Томской ГРЭС-2 равна 193,655 МВт, из них 97,855 МВт потребление в выделяемом районе, а 95,8 МВт уходит в энергосистему. Генерация осуществляется тремя генераторами ТГ2, ТГ3 и ТГ8, загруженными на 96 %. Таким образом суммарная генерация составляет 193,5 МВт. Величину потребления активной мощности присоединений можно увидеть в приложении А.

Так как энергосистема, связанная с Томской ГРЭС-2 является очень большой можно её принять за шины бесконечной мощности. Таким образом значение частоты задается энергосистемой, все небалансы мощности принимает на себя энергосистема и значение частоты равно номинальному 50 Гц.

3.2.2 Новый установившийся режим после выделения Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку

Как было описано в пункте 3.1 в результате аварии в энергосистеме происходит снижение частоты на Томской ГРЭС-2. Для предотвращения быстрого снижения частоты и для дальнейшего её восстановления до номинальных значений отработывает АЧР 1 и АЧР 2 несомещенная. Далее в зависимости от уставки срабатывания Томская ГРЭС-2 действием ЧДА

выделяется на сбалансированную нагрузку. На Томской ГРЭС – 2 для ЧДА заданы следующие уставки срабатывания:

1. 47 Гц / 30 с;
2. 46,3 Гц / 0,5 с;
3. При скорости снижения 2 Гц/с в диапазоне 48,5-47,5 Гц / 0,3 с.

В результате действия ЧДА срабатывают выключатели МВ 110 кВ Т-22, МВ 110 кВ Т-23 и МВ 110 кВ Т-25 и тем самым на нужды станции и на нагрузку 35 и 10 кВ выделяются генераторы ТГ-2 и ТГ-3, а также отключается часть нагрузки. Величина нагрузки, отключаемой ЧДА, равна 8,932 МВт. Перетоки мощности и сработавшие выключатели наглядно представлены в приложении Б. На начальной стадии после срабатывания частотной делительной автоматики генераторы загружены также, как и в нормальном установившемся режиме, значения мощности и состав генерации представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Значения мощности генерации при выделении Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку

Генерация	
Наименование генератора	Значение мощности, МВт
ТГ-2	48
ТГ-3	41
Сумма	89

Так как после выделения Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку связь с энергосистемой отключается, новое установившееся значение частоты будет определяться небалансом мощности генерации и нагрузки.

Исходя из условий описанных выше и из значений, представленных в таблице 3.4, получаем небаланс мощности равным

$$\Delta P = P_{\text{ГНОМ}} - P_{\text{Н0}} = 89,000 - 88,923 = 0,077 \text{ МВт}.$$

Согласно пункту 3.1 коэффициент регулирующего эффекта нагрузки зависит от состава нагрузки. Для определения влияния регулирующего эффекта

нагрузки на частоту в выделившейся на сбалансированную нагрузку Томской ГРЭС-2 зададим различный состав нагрузки.

1. Нагрузка задана только потребителями нулевой группы. Тогда согласно формуле (3.8) a_1, a_2, a_3 и a_4 равны нулю и коэффициент регулирующего эффекта нагрузки равен $k_{\text{нф}1} = 0$.

По модели представленной в пункте 3.1 проведем расчет нового значения частоты.

Первоначально определим значение коэффициента крутизны статической частотной характеристики энергосистемы:

$$k_{f1} = k_{\text{Гф}} \cdot \frac{P_{\text{ГНОМ}}}{P_{\text{НО}}} + k_{\text{нф}1} = 5 \cdot \frac{93}{88,923} + 0 = 5,229,$$

Далее произведем расчет текущего значения частоты:

$$f_1 = \frac{\Delta P \cdot f_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НО}} \cdot k_{f1}} + f_{\text{НОМ}} = \frac{0,077 \cdot 50}{88,923 \cdot 5,229} + 50 = 50,008279 \text{ Гц},$$

Определим отклонение частоты:

$$\Delta f_1 = f_1 - f_{\text{НОМ}} = 50,008279 - 50 = 0,008279 \text{ Гц},$$

2. Половина нагрузки задана потребителями нулевой группы, долевое участие потребителей остальных групп задано в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Доля каждой группы потребителей в суммарной нагрузке

Группа потребителей	0	1	2	3	4
Доля в суммарной нагрузке, %	50	15	5	5	5

Доля участия потребителей второй группы изменятся в дальнейшем не будет, так как потребителей с зависимостью производительности от частоты в квадрате в чистом виде нет, но существуют потребители с близкой зависимостью. Поэтому примем величину данных потребителей небольшой и неизменной.

Таким образом, руководствуясь формулой (3.8) и значениями таблицы 3.2 получим значение регулирующего эффекта нагрузки:

$$k_{\text{нф}2} = (0,15 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,05) = 0,51,$$

По уже известным формулам определим значение частоты при новом значении коэффициента регулирующего эффекта нагрузки.

Определяем значение коэффициента крутизны статической частотной характеристики энергосистемы:

$$k_{f2} = k_{\Gamma f} \cdot \frac{P_{\Gamma \text{НОМ}}}{P_{\text{Н0}}} + k_{\text{Нf}2} = 5 \cdot \frac{93}{88,923} + 0,51 = 5,739,$$

Далее произведем расчет текущего значения частоты:

$$f_2 = \frac{\Delta P \cdot f_{\text{НОМ}}}{P_{\text{Н0}} \cdot k_{f2}} + f_{\text{НОМ}} = \frac{0,077 \cdot 50}{88,923 \cdot 5,739} + 50 = 50,007544 \text{ Гц},$$

Определим отклонение частоты:

$$\Delta f_2 = f_2 - f_{\text{НОМ}} = 50,007544 - 50 = 0,007544 \text{ Гц},$$

3. Нагрузка задана группами потребителей, долевое участие которых задано в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Доля каждой группы потребителей в суммарной нагрузке

Группа потребителей	0	1	2	3	4
Доля в суммарной нагрузке, %	45	35	5	10	5

Согласно таблице 3.3 определим значение коэффициента регулирующего эффекта нагрузки.

$$k_{\text{Нf}3} = (0,35 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,05) = 0,95,$$

Определяем значение коэффициента крутизны статической частотной характеристики энергосистемы.

$$k_{f3} = k_{\Gamma f} \cdot \frac{P_{\Gamma \text{НОМ}}}{P_{\text{Н0}}} + k_{\text{Нf}3} = 5 \cdot \frac{93}{88,923} + 0,95 = 6,179,$$

Произведем расчет текущего значения частоты:

$$f_3 = \frac{\Delta P \cdot f_{\text{НОМ}}}{P_{\text{Н0}} \cdot k_{f3}} + f_{\text{НОМ}} = \frac{0,077 \cdot 50}{88,923 \cdot 6,179} + 50 = 50,007006 \text{ Гц},$$

Определим отклонение частоты:

$$\Delta f_3 = f_3 - f_{\text{НОМ}} = 50,007006 - 50 = 0,007006 \text{ Гц},$$

4. Нагрузка задана группами потребителей, долевое участие которых задано в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Доля каждой группы потребителей в суммарной нагрузке

Группа потребителей	0	1	2	3	4
Доля в суммарной нагрузке, %	25	35	5	20	15

Согласно таблице 3.4 определим значение коэффициента регулирующего эффекта нагрузки.

$$k_{\text{Hf}4} = (0,35 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,15) = 1,65,$$

Определяем значение коэффициента крутизны статической частотной характеристики энергосистемы.

$$k_{f4} = k_{\text{Tf}} \cdot \frac{P_{\text{ГНОМ}}}{P_{\text{H0}}} + k_{\text{Hf}4} = 5 \cdot \frac{93}{88,923} + 1,65 = 6,879,$$

Произведем расчет текущего значения частоты:

$$f_4 = \frac{\Delta P \cdot f_{\text{НОМ}}}{P_{\text{H0}} \cdot k_{f4}} + f_{\text{НОМ}} = \frac{0,077 \cdot 50}{88,923 \cdot 6,879} + 50 = 50,006293 \text{ Гц},$$

Определим отклонение частоты:

$$\Delta f_3 = f_3 - f_{\text{НОМ}} = 50,006293 - 50 = 0,006293 \text{ Гц},$$

5. Нагрузка задана группами потребителей, долевое участие которых задано в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Доля каждой группы потребителей в суммарной нагрузке

Группа потребителей	0	1	2	3	4
Доля в суммарной нагрузке, %	15	25	5	25	30

Согласно таблице 3.5 определим значение коэффициента регулирующего эффекта нагрузки.

$$k_{\text{Hf}5} = (0,25 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,30) = 2,3,$$

Определяем значение коэффициента крутизны статической частотной характеристики энергосистемы.

$$k_{f5} = k_{\text{Tf}} \cdot \frac{P_{\text{ГНОМ}}}{P_{\text{H0}}} + k_{\text{Hf}5} = 5 \cdot \frac{93}{88,923} + 2,3 = 7,529,$$

Произведем расчет текущего значения частоты:

$$f_5 = \frac{\Delta P \cdot f_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НО}} \cdot k_{f5}} + f_{\text{НОМ}} = \frac{0,077 \cdot 50}{88,923 \cdot 7,529} + 50 = 50,005750 \text{ Гц},$$

Определим отклонение частоты:

$$\Delta f_5 = f_5 - f_{\text{НОМ}} = 50,005750 - 50 = 0,005750 \text{ Гц},$$

6. Нагрузка задана группами потребителей, долевое участие которых задано в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Доля каждой группы потребителей в суммарной нагрузке

Группа потребителей	0	1	2	3	4
Доля в суммарной нагрузке, %	5	15	5	35	40

Согласно таблице 3.6 определим значение коэффициента регулирующего эффекта нагрузки.

$$k_{\text{HF}6} = (0,15 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,40) = 2,9,$$

Определяем значение коэффициента крутизны статической частотной характеристики энергосистемы.

$$k_{f6} = k_{\text{Гф}} \cdot \frac{P_{\text{ГНОМ}}}{P_{\text{НО}}} + k_{\text{HF}6} = 5 \cdot \frac{93}{88,923} + 2,9 = 8,129,$$

Произведем расчет текущего значения частоты:

$$f_6 = \frac{\Delta P \cdot f_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НО}} \cdot k_{f6}} + f_{\text{НОМ}} = \frac{0,077 \cdot 50}{88,923 \cdot 8,129} + 50 = 50,005326 \text{ Гц},$$

Определим отклонение частоты:

$$\Delta f_6 = f_6 - f_{\text{НОМ}} = 50,005326 - 50 = 0,005326 \text{ Гц},$$

7. Нагрузка задана группами потребителей, долевое участие которых задано в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Доля каждой группы потребителей в суммарной нагрузке

Группа потребителей	0	1	2	3	4
Доля в суммарной нагрузке, %	5	5	5	25	60

Согласно таблице 3.7 определим значение коэффициента регулирующего эффекта нагрузки.

$$k_{\text{Hf}7} = (0,05 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,60) = 3,3,$$

Определяем значение коэффициента крутизны статической частотной характеристики энергосистемы.

$$k_{f7} = k_{\text{Гf}} \cdot \frac{P_{\text{ГНОМ}}}{P_{\text{НО}}} + k_{\text{Hf}7} = 5 \cdot \frac{93}{88,923} + 3,3 = 8,529,$$

Произведем расчет текущего значения частоты:

$$f_7 = \frac{\Delta P \cdot f_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НО}} \cdot k_{f7}} + f_{\text{НОМ}} = \frac{0,077 \cdot 50}{88,923 \cdot 8,529} + 50 = 50,005076 \text{ Гц},$$

Определим отклонение частоты:

$$\Delta f_7 = f_7 - f_{\text{НОМ}} = 50,005076 - 50 = 0,005076 \text{ Гц},$$

8. Нагрузка задана только потребителями четвертой группы. Тогда согласно формуле (3.8) a_1 , a_2 и a_3 равны нулю и значение коэффициента регулирующего эффекта нагрузки составит $k_{\text{Hf}8} = 4$

Определяем значение коэффициента крутизны статической частотной характеристики энергосистемы.

$$k_{f8} = k_{\text{Гf}} \cdot \frac{P_{\text{ГНОМ}}}{P_{\text{НО}}} + k_{\text{Hf}8} = 5 \cdot \frac{93}{88,923} + 4 = 9,229,$$

Произведем расчет текущего значения частоты:

$$f_8 = \frac{\Delta P \cdot f_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НО}} \cdot k_{f8}} + f_{\text{НОМ}} = \frac{0,077 \cdot 50}{88,923 \cdot 9,229} + 50 = 50,004691 \text{ Гц},$$

Определим отклонение частоты:

$$\Delta f_8 = f_8 - f_{\text{НОМ}} = 50,004691 - 50 = 0,004691 \text{ Гц},$$

Все результаты расчетов сведены в таблицу 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты расчетов значений частоты и её отклонения от номинального значения в новом установившемся режиме после выделения Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку

Значение коэффициента регулирующего эффекта нагрузки	Значение частоты $f_{ав.}$, Гц	Отклонение частоты $\Delta f_{ав.}$, Гц
0,00	50,008279	0,008279
0,51	50,007544	0,007544
0,95	50,007006	0,007006
1,65	50,006293	0,006293
2,30	50,005750	0,005750
2,90	50,005326	0,005326
3,30	50,005076	0,005076
4,00	50,004691	0,004691

Все полученные значения отклонения частоты входят в значения допустимых отклонений частоты в течение получаса суток [2].

3.2.3 Установившийся режим после выделения Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку при отключении одного наиболее нагруженного присоединения

Для того чтобы посмотреть, как поведет себя частота в аварийном режиме и как будет влиять на нее значение регулирующей эффект нагрузки, рассмотрим ситуацию в которой в результате короткого замыкания отключается наиболее загруженное присоединение. Примем величину мощности этого присоединения равной 14,4 МВт. Тогда небаланс мощности в аварийном режиме составит:

$$\Delta P_{ав.} = P_{ГНОМ} - P_{НОав.} = 89,000 - 74,523 = 14,477 \text{ МВт}$$

Далее расчеты производятся по тому же алгоритму что и в пункте 3.2.2, значения коэффициента регулирующего эффекта нагрузки принимаются такими же.

Приведем пример расчета значения частоты в аварийном режиме для нагрузки, заданной только потребителями нулевой группы $k_{Hf1} = 0$.

Значение коэффициента крутизны статической частотной характеристики энергосистемы:

$$k_{f1ав.} = k_{Гf} \cdot \frac{P_{ГНОМ}}{P_{НО}} + k_{Hf1} = 5 \cdot \frac{93}{74,523} + 0 = 6,24,$$

Текущее значения частоты:

$$f_{1ав.} = \frac{\Delta P_{ав.} \cdot f_{НОМ}}{P_{НОав.} \cdot k_{f1ав.}} + f_{НОМ} = \frac{14,477 \cdot 50}{74,523 \cdot 5,229} + 50 = 51,556587 \text{ Гц},$$

Отклонение частоты:

$$\Delta f_{1ав.} = f_{1ав.} - f_{НОМ} = 51,556587 - 50 = 1,556587 \text{ Гц},$$

Результаты расчетов при всех значениях коэффициента регулирующего эффекта нагрузки приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Результаты расчетов значений мощности и ее отклонений от номинального значения в аварийном режиме

Значение коэффициента регулирующего эффекта нагрузки	Значение частоты $f_{ав.}$, Гц	Отклонение частоты $\Delta f_{ав.}$, Гц
0,00	51,556587	1,556587
0,51	51,438979	1,438979
0,95	51,350919	1,350919
1,65	51,231065	1,231065

Продолжение таблицы 3.9

2,30	51,137366	1,137366
2,90	51,062703	1,062703
3,30	51,018145	1,018145
4,00	50,948545	0,948545

Полученные значения отклонения частоты не входят в предельно допустимые отклонения от номинального значения [2]. При этом чем выше регулирующий эффект нагрузки, тем меньше отклонение частоты от номинального значения.

4 Оценка результатов проведенного исследования

Для упрощения анализа влияния регулирующего эффекта нагрузки на частоту при выделении Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку по результатам таблиц 3.8 и 3.9 построим график зависимости значений частоты от значений регулирующего эффекта нагрузки, графики представлены на рисунках 4.1 и 4.2 соответственно.

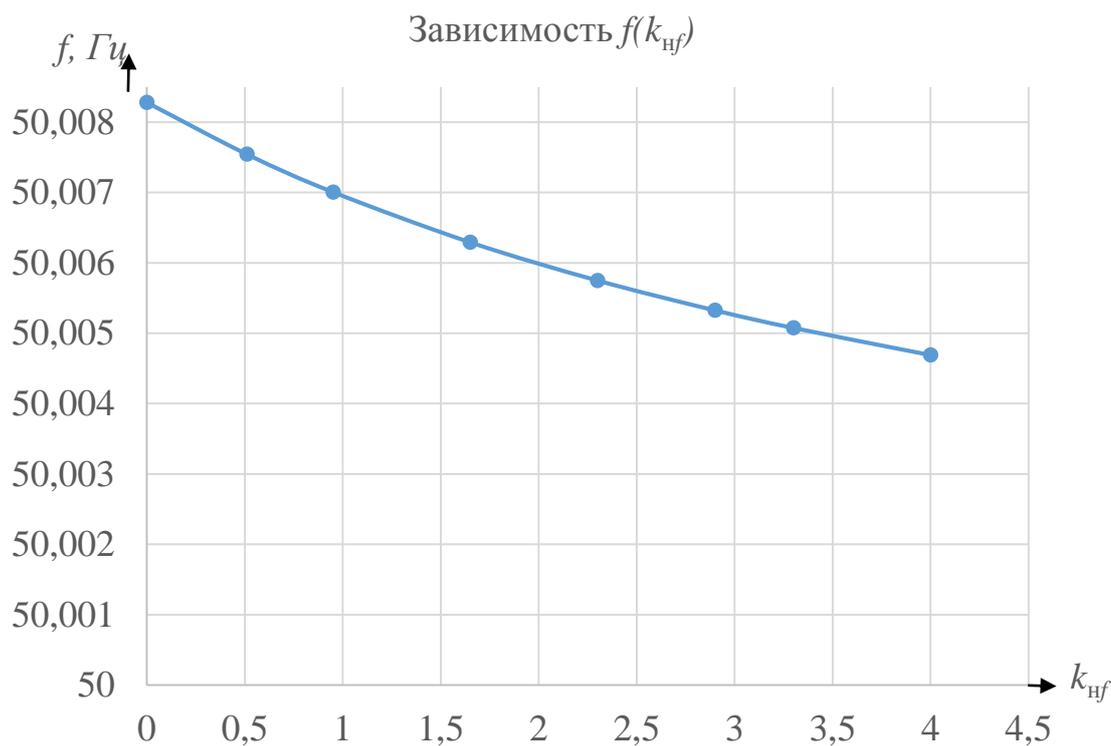


Рисунок 4.1 – График зависимости значения частоты от значения регулирующего эффекта нагрузки в новом установившемся режиме

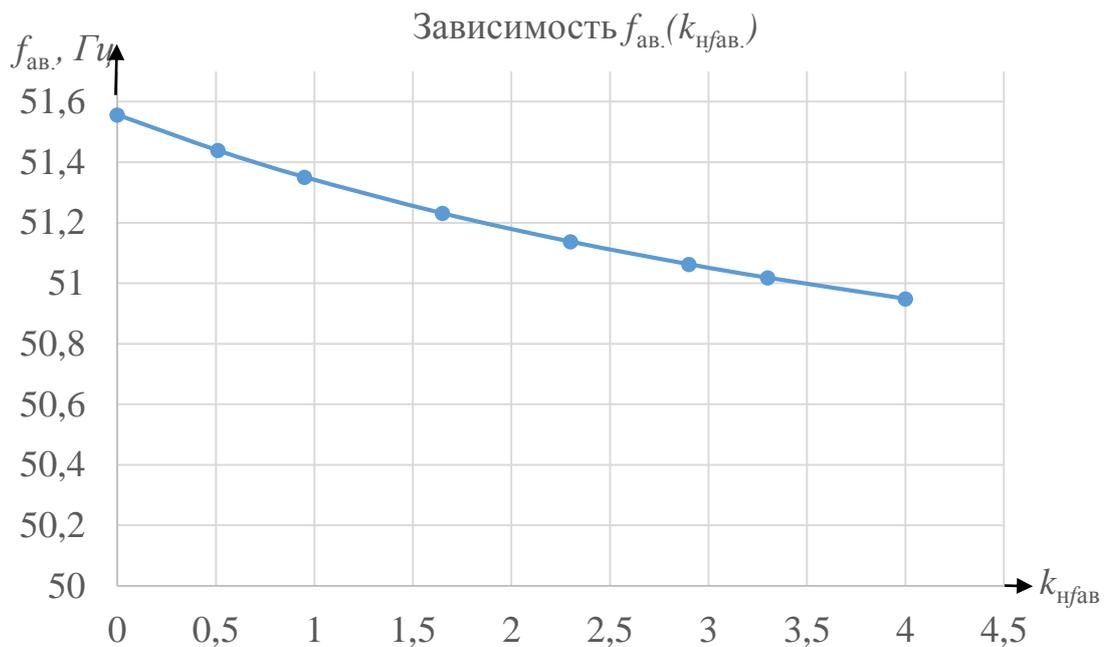


Рисунок 4.2 – График зависимости значения частоты от значения регулирующего эффекта нагрузки при аварийном режиме

Частота обратно пропорциональна значению регулирующего эффекта нагрузки, как видно из графиков на рисунках 4.1 и 4.2. Таким образом при увеличении значения регулирующего эффекта нагрузки значение частоты уменьшается.

Сравнение графиков между собой показывает, что характер зависимости в первом и втором случае остается неизменным. Однако так как величина небаланса во втором случае больше, то и значение частоты при переходе от одного значения регулирующего эффекта к другому изменяется сильнее.

Таким образом, в результате проведения исследования можно сделать следующий вывод: регулирующий эффект нагрузки оказывает существенное влияние на значение частоты в послеаварийном установившемся режиме работы Томской ГРЭС-2 на изолированную нагрузку. Знание точной величины регулирующего эффекта необходимо для анализа и расчета послеаварийных режимов, выработки оперативных указаний и настройки устройств автоматики.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью, данного научно – технического исследования (НТИ) является исследование влияния регулирующего эффекта нагрузки на частоту при выделении Томской ГРЭС-2 на сбалансированную нагрузку.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение ресурсной эффективности НТИ, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Задачи данного раздела:

- Техничко-экономическое обоснование и SWOT анализ НТИ;
- Планирование проведения НТИ;
- Расчет сметы затрат на проведение НТИ;
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

5.1 Техничко-экономическое обоснование научно-технического исследования

Частота переменного электрического тока является одним из главных показателей качества электрической энергии, вырабатываемой генераторами электростанций и поставляемой потребителям. При понижении частоты производительность электродвигателей потребителей понижается. Повышение же частоты приводит к перерасходу электроэнергии. Таким образом, всякое отклонение частоты от номинального значения наносит ущерб народному хозяйству. Отклонение частоты в выделенной на сбалансированную нагрузку электростанции может привести к полной остановке турбин и генераторов, что несет огромный ущерб экономике данного региона и стране в целом. Именно поэтому проведение исследования имеет большую значимость в современном электроэнергетическом комплексе России.

Данное НТИ призвано решить вопрос с регулированием частоты в выделенной на сбалансированную нагрузку электрической станции в установившемся или аварийном режиме.

Заказчиком данного научно – технического исследования может быть служба релейной защиты Томской ГРЭС-2.

Потенциальными потребителями являются генерирующие компании России, в хозяйстве которых имеются электрические станции с установленной частотной делительной автоматикой (ЧДА).

Ниже представлен SWOT-анализ, который позволяет увидеть все плюсы и минусы данного НТИ.

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-технического исследования.

SWOT – анализ проекта, позволяющий оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие реализации проекта. Для анализа проекта составлена таблица 5.1.

Таблица 5.1 – SWOT-анализ

Сильные стороны исследования	Возможности во внешней среде
<ol style="list-style-type: none"> 1. Новизна исследования 2. Более полные сведения о частоте при аварии после работы ЧДА 3. Проведение исследования с использованием нового программного обеспечения 4. Повышение надежности работы электрической станции и энергосистемы в целом 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность для дальнейшего более обширного исследования 2. Возможность применения для изменения состава защиты на станциях с установленной ЧДА
Слабые стороны исследования	Угрозы внешней среды
<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаток сведений по текущим значениям мощности Томской ГРЭС-2 2. Постоянно изменяющиеся по времени значения мощности 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Короткое замыкания на оборудовании электрической станции

Проведен комплексный анализ научно-технического исследования. Как видно из таблицы 5.1 сильных сторон намного больше, чем слабых, что говорит об актуальности НТИ. Причем слабые стороны легко решаемы при более плотном сотрудничестве с заказчиком.

5.2 Планирование проведения НТИ

5.2.1 Составление перечня работ

Анализ частоты и режимов работы электрической станции Томская ГРЭС-2 производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Исходными данными для расчета является план выполнения работ, их трудоемкость и перечень исходных материалов.

Для определения трудоемкости выполнения НТИ составим перечень основных видов и этапов работы, которые должны быть выполнены (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – План научно-технического исследования

№ этапа	Наименование этапов	Наименование работ	Исполнители	Продолжительность этапов в %
1	Подготовительный этап	Составление и согласование ТЗ	Руководитель НТИ, Студент	12
		Подбор необходимой литературы		
2	Изучение теоретического материала необходимого в НТИ	Изучение влияния генерации и потребителя на частоту	Руководитель НТИ, Студент	30
		Изучение построения моделей в программном комплексе RastrWin3		
3	Экспериментальные работы НТИ	Расчеты установившихся режимов с учетом частоты в программном комплексе RastrWin3	Руководитель НТИ, Студент	40
		Расчет значений частоты и влияние регулирующего эффекта нагрузки аналитически		

Продолжение таблицы 5.2

4	Выводы и предложения по НТИ	Выводы по проделанной работе	Руководитель НТИ, Студент	13
		Оформление отчета НТИ		
5	Завершающий этап	Согласование и сдача отчета по НТИ	Руководитель НТИ, Студент	5
Всего				100

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (5.2)$$

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.

Сокращения, приведенные в таблице:

Студ. – студент,

Рук. – руководитель НТИ.

Таблица 5.3 – Определение трудоемкости работ

Стадии, этапы	Исполнители	t_{\min} , чел-дни	t_{\max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}$, чел-дни	T_p , дни
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП					
Составление и согласование ТЗ	Рук.	1	2	1,4	2
Подбор необходимой литературы	Рук., Студ.	9	12	10,2	5
ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА					
Изучение влияния генерации и потребителя на частоту	Студ., Рук.	7	14	9,8	5
Изучение построения моделей в программном комплексе RastrWin3	Студ., Рук.	7	14	9,8	5
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ НТИ					
Расчеты установившихся режимов с учетом частоты в программном комплексе RastrWin3	Студ., Рук.	30	35	32	16
Расчет значений частоты и влияние регулирующего эффекта нагрузки аналитически	Студ., Рук.	32	36	33,6	17
ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО НТИ					
Выводы по проделанной работе	Студ., Рук.	7	14	9,8	5
Оформление отчета НТИ	Студ.	9	15	11,4	12
ЗАВЕРШАЮЩИЙ ЭТАП					
Согласование и сдача отчета по НТИ	Рук.	2	6	3,6	4

5.2.3 Разработка графика проведения научно-технического исследования

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения работ.

На основе таблицы 5.3 строим план-график. График строим для максимального по длительности исполнения работ в рамках технического исследования, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени проведения исследования. При этом работы на графике выделяем различным цветом в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Построенный график представлен на рис.5.1.

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с третьей декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Далее, по ленточному графику можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

Продолжительность выполнения НТИ в рабочих днях составит 108 дней.

Из них:

98 дней – продолжительность выполнения работ студентом;

28 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

№	Вид работ	Исполнитель работ	$T_{р\bar{b}}$ раб. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Февр.	Март			Апр.			Май			Июнь
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Определение объема работ	Научный руководитель	2	■										
2	Подбор необходимой литературы	Студент	3	■										
		Научный руководитель	7	■										
3	Изучение влияния генерации и потребителя на частоту	Студент	9		■									
		Научный руководитель	1		■									
4	Изучение построения моделей в программном комплексе RastrWin3	Студент	7			■								
		Научный руководитель	3			■								
5	Расчеты установившихся режимов с учетом частоты в программном комплексе RastrWin3	Студент	28				■							
		Научный руководитель	4				■							
6	Расчет значений частоты и влияние регулирующего эффекта нагрузки аналитически	Студент	31						■					
		Научный руководитель	5							■				
7	Выводы по проделанной работе	Студент	8										■	
		Научный руководитель	2									■		
8	Оформление отчета НТИ	Студент	12										■	
9	Проверка готового отчета руководителем	Научный руководитель	4											■

Рисунок 5.1 – Ленточный график выполнения НТИ

5.3 Смета затрат на проведение НТИ

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

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

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.комп.техн}} + I_{\text{з/пл}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} \quad (5.3)$$

5.3.1 Материальные затраты

Материальные затраты включают в себя стоимость приобретенных материалов и сырья, которые необходимы для проведения НТИ.

Таблица 5.4 – Материальные затраты

№	Наименование изделия	Количество (ед. штук, упаковок)	Цена единицы изделия, руб.	Общая стоимость изделия, руб.
1	Бумага формата А4	1	250	250
2	Ручки и карандаши	4	45	180
3	Картридж ч/б	1	500	500
4	Компьютер	1	38000	38000
5	Принтер	1	4500	4500
Итого:	43430 руб.			

Таким образом сумма материальных затрат составила 43430 руб.

5.3.2 Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления – отчисления части стоимости основных фондов для возмещения их износа.

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:

$$I_{\text{ам.комп.техн}} = (T_{\text{исп.к.т}}/365) \times K_{\text{комп.т.}} \times N_{\text{а}}, \quad (5.4)$$

где $T_{\text{исп.к.т}} = 62$ дня – время использования компьютерной техники;

365 дней – число дней в году;

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

$N_{\text{а}}$ – норма амортизации.

$$K_{\text{комп.т.}} = K_{\text{комп}} + K_{\text{принтера}}, \quad (5.5)$$

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

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

$$N_{\text{а}} = 1/T_{\text{слк.т.}}, \quad (5.6)$$

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

$$I_{\text{ам.комп.}} = (T_{\text{исп.к.т.}}/365) \times K_{\text{комп.т.}} \times N_{\text{а}} = (62/365) \times 38000 \times (1/8) = 807 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам.прин.}} = (T_{\text{исп.к.т.}}/365) \times K_{\text{комп.т.}} \times N_{\text{а}} = (15/365) \times 4500 \times (1/6) = 31 \text{ руб}$$

$$I_{\text{ам.комп.техн}} = I_{\text{ам.комп.}} + I_{\text{ам.прин.}} = 807 + 31 = 838 \text{ руб.}$$

Результаты расчета представлены в таблице 5.5

Таблица 5.5 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	$K_{\text{комп.т}}$ руб.	$T_{\text{исп.к.т.}}$, дней.	$I_{\text{ам.комп.техн}}$, руб
Компьютер	38000	62	807
Принтер	5000	15	31
Итого	838		

Затраты на амортизацию оборудования составляют 838 руб.

5.3.3 Расходы на оплату труда

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.7)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-15 % от $Z_{осн}$).

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (5.8)$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_t + Z_d + Z_{рк}}{F_d}, \quad (5.9)$$

где Z_t – месячный должностной оклад работника, руб.;

Z_d – доплата за руководство расчетного проектирования;

$Z_{рк}$ – доплата с учетом районного коэффициента, $K_{рк}$ равный 1,3;

F_d – фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_t , руб	$Z_{доп}$, руб	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , дн	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	20389,9	2200,0	29366,9	1129,5	28	31626,0
Студент	8000,0	-	10400,0	400,0	98	39200,0
Итого						70826,00

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат, 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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (5.10)$$

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

Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 5.7

Таблица 5.7 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$K_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$, руб	$Z_{\text{доп}}$, руб	$Z_{\text{зп}}$, руб
Руководитель	0,15	31626,0	4743,9	36369,9
Студент	0,12	39200,0	4704,0	43904,0
Итого		70826,0	9447,0	80273,9

Затраты на заработную плату составили 80273,9 руб.

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.11)$$

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

На основании п. 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году вводится пониженная ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплаты труда.

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot 80274 = 21754,2 \text{ р.}, \quad (5.12)$$

5.3.5 Накладные расходы

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

Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{затраты на НИИ}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (5.13)$$

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

5.3.6 Формирование сметы НТИ

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение сметы затрат на технический проект приведено в таблице 5.8

Таблица 5.8 – Определение сметы затрат на технический проект

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты	43,430	25,5
2. Амортизационные отчисления	0,838	0,5
3. Затраты по заработной плате исполнителей НТИ	80,274	47
4. Отчисления во внебюджетные фонды	21,754	13
5. Накладные расходы	23,478	16
Итого	170,215	100

Вывод: Смета затрат на разработку технического проекта составляет 170,215 тыс. руб.

5.4 Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности

Определение ресурсоэффективности НТИ можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [7]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.14)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливаем экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Для нормального функционирования данного метода необходимо принять ряд критериев. В данном случае выбираем следующие:

- надежность – бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией надлежащего качества;
- гибкость – система электроснабжения должна быть рассчитана на «рост» в случае необходимости расширения предприятия и должна допускать легкое приспособление к изменению технологических процессов;
- безопасность – это свойство системы электроснабжения сохранять с некоторой вероятностью безопасное состояние при выполнении заданных функций в условиях, установленных нормативно-технической документацией (монтаж, эксплуатация и проведение ремонтных работ);
- простота эксплуатации – энергосистема должна обеспечиваться рациональным расположением элементов, ясностью и простотой схемы, чтобы персонал даже средней квалификации мог успешно выполнять все необходимые операции;
- экономичность – система электроснабжения должна быть выполнена таким образом, чтобы затраты на ее создание, эксплуатацию и развитие были минимальными при условии соблюдения требований гибкости, безопасности и надежности.

После выбора критериев оцениваем их по 5-и бальной шкале и определяем интегральный показатель, с помощью которого делаем вывод об эффективности использования научно-технического исследования.

Оценочные критерии для расчета интегрального показателя ресурсоэффективности приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Оценочные критерии проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Надежность	0,25	5
2. Гибкость	0,10	4
3. Безопасность	0,25	5
4. Простота эксплуатации	0,15	3
5. Экономичность	0,25	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 = 4,6$$

По 5-балльной шкале показатель ресурсоэффективности исследования имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования научно-технического исследования.

Итак, в данном разделе выпускной квалификационной работы были произведены следующие действия:

- осуществлен комплексный SWOT - анализ научно-исследовательского проекта, на основе которого выявлены слабые стороны проекта и возможные пути их устранения.
- Был составлен план выполнения работы и посчитана трудоемкость выполнения работы. Продолжительность выполнения технического проекта составила 98 раб. дней для студента и 28 для руководителя.
- Рассчитана стоимость затрат на выполнение научной исследовательской работы. Сумма всех затрат составила 170,215 тыс. руб.
- Был рассчитан интегральный показатель ресурсоэффективности исследования, который имеет достаточно высокое значение, что свидетельствует о перспективности и эффективности использования данного исследования.

6 Социальная ответственность

Тема выпускной квалификационной работы «Влияние регулирующего эффекта нагрузки на частоту при выделении Томской ГРЭС – 2 на сбалансированную нагрузку». Данное исследование относится к области электроэнергетики, а именно к управлениям режимами и релейной защите. Основными пользователями данного исследования могут быть служба релейной защиты Томской ГРЭС – 2 или службы релейной защиты других электрических станций. В данном разделе социальная ответственность будут рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, действующие на инженера службы релейной защиты, работающего за ПЭВМ в офисном здании, а также будут рассмотрены безопасность в чрезвычайных ситуациях, экологическая безопасность, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

В процессе любой трудовой деятельности, каждый человек, вовлечённый в эту деятельность, подвергается воздействию целого комплекса производственных факторов. В свою очередь, эти факторы способны влиять на здоровье человека. Совокупность всех факторов, влияющих на здоровье человека, называется условиями труда.

Реальные условия труда характеризуются различными вредными и опасными факторами. Зачастую, между опасными и вредными факторами не существует чёткой границы, каждый фактор может рано или поздно привести к потере здоровья или к несчастному случаю.

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов

Влияние вредных производственных факторов приводит к снижению трудоспособности, вызванные переутомлением, что приводит к развитию профессиональных заболеваний. Также инженер службы релейной защиты подвергается воздействию опасных факторов, воздействие которых на персонал приводят к травме. Ниже в таблице приведен перечень опасных и вредных производственных факторов. [8]

Таблица 6.1 Опасные и вредные факторы при анализе влияния регулирующего эффекта нагрузки на частоту

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работы на рабочем месте: 1) Анализ необходимой литературы; 2) Выполнение расчетов на ПЭВМ в прикладном комплексе RastrWin 3; 3) Выполнение расчетов аналитически в MS Word с использованием программного комплекса MathCAD; 4) Составление отчета и анализ полученных результатов.	1) Повышенный уровень шума 2) Электромагнитное излучение 3) Отклонение показателей микроклимата в помещении 4) Недостаточная освещенность рабочей зоны	1) Поражение электрическим током	1) ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ 2) СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03 3) СанПиН 2.2.4.548-96 4) ГОСТ Р 50923-96

6.1.2 Повышенный уровень шума

Уровни шума на рабочих местах пользователей ПК не должны превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003–83 и СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03.

Уровень шума на основных рабочих местах (диспетчерские, операторские, расчетные кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.) не должен превышать 50 дБА. На рабочих местах в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин (принтеры и т.п.) уровень шума не должен превышать 75 дБА. [9]

Таблица 6.2 – Уровни звукового давления

Рабочие места	Уровни 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	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Снижение шума, создаваемого на рабочих местах внутренними источниками, а также шума, проникающего извне, осуществляется следующими методами:

- уменьшением шума в источнике;
- рациональной планировкой помещения;
- уменьшением шума на пути его распространения (звукоизоляция, звукопоглощение). [10]

6.1.3 Электромагнитное излучение

Источником электромагнитного излучения является дисплей, системный блок, клавиатура. Вокруг компьютера образуется электромагнитное поле с диапазоном частот от 5 до 400 кГц.

Параметры электромагнитных излучений на рабочем месте пользователя ПК и величина электростатического потенциала экрана дисплея не должны превышать значений, установленных СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03. [11] Требования к электромагнитным полям дисплея приведены в табл.6.4.

Таблица 6.4 – Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Для защиты от действия электромагнитного поля используются следующие средства и методы защиты:

- стеклянные фильтры полной защиты, обеспечивающие ослабление мощности электромагнитного и электростатического полей;
- спектральные компьютерные очки для улучшения качества изображения, защиты от избытков энергетических потоков видимого света;
- специальная налобная повязка для частичной экранизации негативного энергоинформационного воздействия компьютера и периферийных средств, а также для снижения вредного воздействия электрического и магнитного полей промышленной частоты;
- размещение токоведущих элементов аппаратов и устройств в ферромагнитные оболочки кожухи;
- снижение мощности излучения электромагнитного поля на рабочем месте путем увеличения расстояния между источником излучения и рабочим местом.

Для работы должны использоваться ПК, имеющие дисплей с низким уровнем излучения. При установке на рабочем месте ПК должен быть правильно подключен к электропитанию и надежно заземлен. Для обеспечения предельно допустимых уровней электромагнитных излучений необходимо рациональное размещение рабочих мест, оснащенных ПК.

Экран дисплея должен находиться от пользователя ПК на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров цифровых знаков и символов, которые должны соблюдаться в процессе работы. Для исключения воздействия на пользователя повышенных уровней излучений от боковых стенок корпуса дисплея, не следует размещать рядом с ПК какое-либо другое производственное оборудование (в т.ч. печатающее устройство).

6.1.4 Микроклимат

Микроклимат – климат внутренней среды помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового

излучения от нагретых поверхностей. Для обеспечения оптимальных условий труда объём производственного помещения на одного работающего согласно санитарным нормам должен быть не менее 20 м³, площадь помещения, огороженного стенами, не менее 6 м². [12] Оптимальные параметры микроклимата помещений с ПК приведены в таблице 6.5, допустимые параметры в таблице 6.6.

Таблица 6.5 – Оптимальные нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Средняя скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Лёгкая, 1а	20 - 24	40 – 60	0,1
Тёплый	Лёгкая, 1а	20 - 24	40 - 60	0,1

Таблица 6.6 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Средняя скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Лёгкая, 1а	19 - 26	15 - 75	0,1
Тёплый	Лёгкая, 1а	20 - 29	15 - 75	0,1

Так же немаловажным фактором является интенсивность теплового облучения, допустимые нормы приведены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²
50 и более	35
25 - 50	70
Не более 25	100

Для обеспечения комфортных условий труда используются организационные и технические методы. Организационный являются рациональная организация работы, в зависимости от времени суток и года, а также организация правильного чередования труда и отдыха. Поэтому рекомендуется, чтобы в пределах предприятия организовывать зеленую зону со скамейками и водоемом (бассейном).

Технические средства включают вентиляцию, кондиционирование воздуха, отопительную систему. Отопление и системы кондиционирования

следует устанавливать так, чтобы ни теплый, ни холодный воздух не был направлен на людей, работающих в помещении.

6.1.5 Освещение

Производственное освещение является одной из важных составляющих комфортных условий работы. На рабочем месте пользователя ПК должны быть соблюдены нормы освещенности и качественные показатели освещения в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50923-96 «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения» и СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03. [11]

Недостаточное освещение приводит к преждевременной усталости, ослабляет внимание, приводит к напряжению зрения. Чрезмерное яркое освещение вызывает раздражение, ослепление и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать блики, резкие тени, дезориентировать рабочих. Все эти причины могут привести к аварии или профессиональному заболеванию, поэтому важное значение имеет правильный расчет освещенности.

К системам производственного освещения предъявляются следующие требования: соответствие уровня освещенности рабочих мест характеру выполняемой зрительной работы; достаточно равномерное распределение яркости на рабочих поверхностях и в окружающем пространстве; отсутствие резких теней, прямых и отраженных отблесков; постоянство освещенности во времени; оптимальная направленность излучаемого осветительными приборами светового потока; долговечность, экономичность, электро- и пожаробезопасность, эстетичность, удобство и простота эксплуатации. Рабочее помещение должно иметь естественное и искусственное освещение.

Проектирование естественного освещения осуществляется в соответствии с действующими строительными нормами и правилами СНиП. Коэффициент естественной освещенности (КЕО) не должен быть ниже 1,2% в

зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5% на остальной территории. [13]

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк.

6.1.6 Электрический ток

Основными причинами электротравматизма являются: случайное прикосновение к неизолированным токоведущим частям электрооборудования; работа с неисправными ручными инструментами; пользование неисправными и нестандартными переносными светильниками на напряжение 127 В и 220 В; применение открытых рубильников; работа без защитных изолирующих средств и предохранительных приспособлений; прикосновение к незаземленным корпусам; несоблюдения правил технической эксплуатации и правил безопасности при эксплуатации электроустановок и т.п.

Офисное помещение службы релейной защиты относится в отношении опасности поражения людей электрическим током относится к помещению без повышенной опасности. [14]

Опасное и вредное воздействие на людей электрическим током, электрической дугой и электромагнитным полем проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Степень вредного и опасного воздействия на человека электрического тока и электрической дуги зависит от:

- величины и рода тока и напряжения;
- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека.

Допустимым считается ток, при котором человек может самостоятельно освободиться от электрической цепи. Его величина зависит от времени прохождения тока через тело человека: при длительности воздействия тока промышленной частоты 50 Гц более 10 с допустимым значением является 2 мА, при 10 с и менее - 6 мА. Чем больше будет время воздействия тока, тем сильнее будет поражение и тем меньше вероятность восстановления жизненных

функций организма.

ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»; устанавливает следующие значения предельно допустимых уровней напряжений прикосновения и токов:

Таблица 6.8 – Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значения	
	$U_{пр}$, В	I , мА
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

6.2 Экологическая безопасность

При работе на рабочем месте инженер службы релейной защиты в результате дыхательных процессов выделяет углекислый газ в атмосферу.

Также возникают следующие виды отходов, которые могут нанести вред окружающей среде:

- сброс сточных вод;
- твердые отходы.

Сточные воды – это загрязненные различными производственными отходами воды, для удаления которых с территории населенных пунктов и предприятий промышленности оборудуются специальные канализационные системы.

На данном рабочем месте присутствует 1 категория классификации сточных вод: бытовые (хозяйственно-фекальные), где происходит удаление вод из туалетов, душевых и столовых.

Очистка и утилизация сточных вод из канализационных систем населенных пунктов производится в специальных очистных сооружениях, в которых из стоков удаляются следующие вещества:

- Взвешенные;

- Коллоидные;
- Растворенные;
- Осевший в первичных отстойниках осадок;
- Избыток активного ила, появившийся в результате биологической очистки.

Кроме того, в данных сооружениях производится обработка и обеззараживание сточных вод, позволяющие выполнить в дальнейшем их утилизацию.

К твердым бытовым отходам относятся органические и неорганические.

1. Органические: пищевые, деревянные, кожаные и костные;
2. Не органические: бумажные, пластмассовые, металлические, текстильные, стеклянные и резиновые.

Каждый из этих видов отходов может нести следующий вред:

- пищевые отходы при гниении собирают вокруг себя множество микроорганизмов, паразитов и животных переносчиков заразы: тараканы, мухи, крысы и т.д.;

- бумажные отходы в основном покрыты красками или пропитаны воском, что затягивает процесс разложения, а также при разложении выделяются ядовитые газы;

- металлические отходы при разложении выделяют в почву или воду оксиды и диоксиды;

- пластмасса при разложении выделяет ядовитые вещества, которые нарушают нормальные процессы в почве и воде, что непременно негативно сказывается на природе в целом.

Для предотвращения всех вышперечисленных вредных факторов необходимы специальные методы утилизации. Поэтому предприятие должно заключать договора с организациями, занимающимися утилизацией данных видов отходов, которые обеспечат своевременный вывоз отходов.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Под устойчивостью работы объекта в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени понимается его способность производить в этих условиях запланированную продукцию в установленной номенклатуре и объеме, а для объекта непродуцирующей сферы – выполнять заданные функции. [15]

Сущность повышения устойчивости работы объекта в чрезвычайных условиях заключается в разработке и осуществлении мероприятий, направленных:

- на максимальное снижение возможных потерь и разрушений;
- на обеспечение защиты рабочих, служащих и членов семей, на обеспечение их жизнедеятельности;
- на предотвращение производственных аварий и катастроф, снижение возможных потерь и разрушений при их образовании, а также от возможных современных средств поражения;
- на создание условий для ликвидации последствий, аварий, катастроф, стихийных бедствий;
- на подготовку к выполнению работ по восстановлению производства своими силами и в короткий срок.

Основные причины чрезвычайных ситуаций:

- влияния внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижению их физико-математических показателей;
- результаты стихийных бедствий и особо опасных инфекций;
- воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, скорости, температуры, вибрации);
- производственные дефекты сооружений (ошибки при исследовании и проектировании, плохое выполнение строительных работ, плохого качества строительных материалов и конструкций, нарушения в технологии изготовления и строительства);

- нарушение правил безопасности при ведении работ и технологических процессов;
- ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и специалистов и их некомпетентностью, безответственностью, и т. д.

При работе в службе релейной защиты возможны следующие ЧС:

- стихийные бедствия;
- военные действия;
- пожар.

Рассмотрим более подробно наиболее вероятную чрезвычайную ситуацию – пожар.

Пожар – неконтролируемый процесс горения, развивающийся во времени и пространстве, опасный для людей и наносящее материальный ущерб. Наиболее распространенными источниками воспламенения являются источники электрического происхождения. Пожарная безопасность направлена на профилактику и ликвидацию пожаров и имеет очень важное значение.

Основными причинами пожаров в административных зданиях являются:

- несоблюдение правил эксплуатации производственного оборудования и электрических сетей;
- неосторожное обращение с огнем;
- невнимательность во время курения;

Условия, способствующие распространению пожара.

1. отсутствие противопожарных преград (стен, дверей, люков);
2. зазоры в проходах через стены и потолки связи;
3. легковоспламеняющиеся отделка помещения, коридоры, лестничные клетки;

Меры по предотвращению возгорания:

- Система вентиляции должны быть оборудована устройством, обеспечивающим автоматическое отключение при пожаре.

– Подачу воздуха к ПЭВМ, для охлаждения, необходимо предусматривать по самостоятельному воздуховоду.

– Необходимо производить очистку от пыли всех аппаратов и узлов ПЭВМ (желательно раз в месяц).

Офисное помещение службы релейной защиты по пожарной опасности относится к категории В-1, т.к. в помещении находятся твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы, а также вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и друг с другом гореть. [16]

Для тушения пожаров на начальный момент возгорания необходимо воспользоваться углекислотным огнетушителем.

В помещениях должна предусматриваться автоматическая пожарная сигнализация. Также необходимо устанавливать реле, реагирующее на дым.

В зданиях пожарные краны устанавливаются на площадках лестничных клеток, в коридорах и входах.

Во время пожара или возгорания, немедленно необходимо эвакуировать людей. При эвакуации, следует не создавать паники и двигаться в соответствии с планом эвакуации.

Одним из условий быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является соблюдение общественного порядка. Персонал, находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие, не поддаваться панике.

Для ликвидации последствий ЧС созданы следующие службы:

- оповещения и связи;
- противорадиационной и противохимической защиты;
- медицинская;
- аварийно-техническая;
- охраны общественного порядка.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

а) Требования к организации рабочих мест с использованием ПЭВМ:

Для установки и расположения компьютерной техники в помещении необходимо выполнить требования для нормальной электромагнитной обстановки на рабочих местах:

- групповые рабочие места пользователей ПЭВМ желательно размещать, на нижних (1-3) этажах зданий, поскольку они в наибольшей степени экранированы соседними зданиями от постороннего воздействия радиоволн;

- помещение должно быть нейтрализовано от посторонних источников ЭМП, все крупные металлические предметы (решетки на окнах, металлические шкафы, сейфы и т.д.) должны быть заземлены;

- обеспечено быть обеспечено надежное заземление.

На одного работника площадь помещения должна составлять не меньше 6 м², а объем помещения не менее 20-24 м³ при его высоте 4 м.

Необходимо избегать расположения рабочего места с ПЭВМ в углах комнаты или лицом к стене (расстояние от ПЭВМ до стены должно быть не менее 1 м).

б) Требования к организации работы с ПЭВМ:

Продолжительность работы с ПЭВМ при чтении информации с экрана, вводе данных, редактировании программ не должна превышать 4-х часов при 8-часовом рабочем дне. Через каждый час работы должен делаться перерыв на 5-10 минут, а через 2 часа – перерыв на 15 минут.

Для предупреждения преждевременной усталости рекомендуется чередовать работу с ПЭВМ и без нее.

Правильная поза и положение рук работника являются важными для исключения нарушений в опорно-двигательном аппарате и возникновения синдрома постоянных нагрузок. Правильная позиция за компьютером:

- Расстояние от монитора до глаз пользователя в пределах 500-700 мм;
- Уровень глаз на 15-20 см выше центра экрана;

- Вертикальная позиция тела, обеспечивающая максимальный приток кислорода ко всем частям тела;
- Обе ступни на полу, что обеспечивает хорошую релаксацию и отсутствие напряженности мышц тела, а также лучшую циркуляцию крови;
- Задняя поверхность бедер соприкасается с сиденьем; колено и бедро на одной линии, что позволяет избежать напряженности мышц ног;
- Плечи опущены и расслаблены, благодаря чему руки также будут расслабляться;
- Запястья и локти на одной линии, пальцы ниже или на уровне запястий, при этом они обладают наибольшей свободой передвижения.

Рабочий стул (кресло) должно иметь регулировку высоты, угла наклона сиденья и спинки, полумягкое, нескользящее, слабо электризующееся и воздухопроницаемое покрытие.

Выполнение большого количества локальных движений с участием мышц кистей рук и предплечья приводит к ному утомлению этой группы мышц и к болезням периферических нервов мышц, сухожилий. Статическое напряжение мышц шеи приводит к снижению интенсивности кровообращения только в этой области, но и головного мозга, следствием чего являются головные боли.

В данном разделе выпускной квалификационной работы были рассмотрены:

- вредные и опасные производственные факторы влияющие на инженера службы релейной защиты, а также способы защиты от них. Например, для защиты от шума применяются шум поглощающие материалы или средства индивидуальной защиты. Для защиты человека от неблагоприятных климатических условий применяется вентиляция и отопление в помещениях. Для защиты от электромагнитных излучений применяется экранирующая защита или уменьшается время нахождения персонала в электромагнитных полях. Для создания комфортного освещения применяют комбинированное естественное и искусственное освещение. Для защиты от поражения

электрическим током используются заземление электроустановок и дополнительные изолирующие средства. Для защиты от пожаров предусмотрены инструктажи, огнетушители и пожарные щиты, также в каждом кабинете расположена инструкция по пожарной безопасности и эвакуации в случае пожара;

- влияния на окружающую среду: выделение углекислого газа, сточные воды и твердые отходы. Для экологической безопасности применяют специализированные способы утилизации и нормирование рабочего времени;

- безопасность при чрезвычайных ситуациях. Мероприятия необходимы для устойчивой работы объекта, а также основные причины чрезвычайных ситуаций

- организация рабочего места и организация работы с ПЭВМ.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы было рассмотрено текущее состояние Томской ГРЭС – 2, стратегическое значение электрической станции, а также установленное на ней оборудование. Были определены способы регулирования частоты в энергосистеме, нормы и требования, предъявляемые к оборудованию и станции в целом, участвующим в регулировании частоты. Была изучена противоаварийная автоматика, предназначенная для поддержания частоты в пределах допустимых отклонений.

В ходе выполнения работы была определена значимость такого показателя качества электрической энергии, как частота. В результате проведения исследования было рассмотрено влияние на частоту одного из факторов – регулирующего эффекта нагрузки.

После выделения электрической станции на сбалансированную нагрузку или на собственные нужды, значение частоты в выделившейся энергосистеме играет значительную роль, так как при значительных отклонениях частоты турбоагрегаты электростанции могут полностью остановиться, что ведет в конечном итоге к потере прибыли. При проведении исследования было рассмотрено влияние регулирующего эффекта нагрузки после выделения Томской ГРЭС – 2 на сбалансированную нагрузку при разных небалансах мощности.

Так как в течение дня состав потребителей изменяется практически постоянно, то и значение регулирующего эффекта нагрузки изменяется в течение суток. И для определения влияния значения регулирующего эффекта нагрузки на значение частоты, были посчитаны значения частоты при различных значениях регулирующего эффекта нагрузки.

Точное значение регулирующего эффекта нагрузки позволит анализировать и рассчитывать послеаварийные режимы, а также разрабатывать оперативные указания и правильно настроить устройства автоматики.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был произведен SWOT-анализ научно-технического исследования, в результате которого было определено, что сильные стороны преобладают над слабыми, что несомненно делает данное исследование актуальным. Также была произведена оценка трудоемкости, составлен план выполнения НИИ и рассчитан бюджет для проведения данного НИИ. В итоге был рассчитан интегральный показатель ресурсоэффективности исследования, который показал, что данное проведение данного исследования является перспективным и эффективным.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вредные и опасные факторы воздействующие на инженера службы релейной защиты электрической станции, а также пути их снижения или устранения. Также были рассмотрены безопасность в чрезвычайных ситуациях, в частности при пожаре, и экологическая безопасность, где рассматривалось влияние на окружающую среду при работе инженера службы релейной защиты. В конце раздела были рассмотрены организационные вопросы безопасности при работе вышеупомянутого сотрудника.

Список использованной литературы

1. Пуск новой турбины Т-50 на Томской ГРЭС-2 [Электронный ресурс], - <http://energo.tom.ru/media/news/5056/> - статья в интернете.
2. ГОСТ 32144-13 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации – Москва: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
3. Вайнштейн, Р.А. Основы управления режимами энергосистем по частоте и активной мощности, по напряжению и реактивной мощности: учебное пособие / Р.А. Вайнштейн, Н.В. Коломиец, В.В. Шестакова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 96 с.
4. СТО 59012820.27.100.003-2012 Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС России / ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы» - 2012. – 27 с.
5. ГОСТ Р 55105-2012 Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования / Федеральное агентства по техническому регулированию – Москва: Стандартинформ, 2013. – 20 с.
6. СТО 59012820.29.240.001-2010 Технические правила организации в ЕЭС России автоматического ограничения снижения частоты при аварийном дефиците активной мощности (автоматическая частотная разгрузка) / ОАО «СО ЕЭС» - 2009. – 20 с.
7. Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение / Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. – Томск: ТПУ, 2014. – 37 с.
8. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ.1976-01-01. Текст. М.: Изд-во стандартов, 2004. 4 с.

9. ГОСТ 12.1.003-2014. Шум. Общие требования безопасности. Введ. 2015-15-11. Текст. М.: Изд-во стандартов, 2015. 27 с.
10. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума. Классификация. Введ. 1981-30-06. Текст. М.: Изд-во стандартов, 1988. 4 с.
11. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
12. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
13. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
14. Правила устройств электроустановок. 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
15. ГОСТ Р 22.0.02.-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий. Введ. 1996-01-01. Текст. М.: Изд-во стандартов, 1994. 16 с.
16. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Введ. 2003-08-01. 31 с.
17. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях.

Приложение А

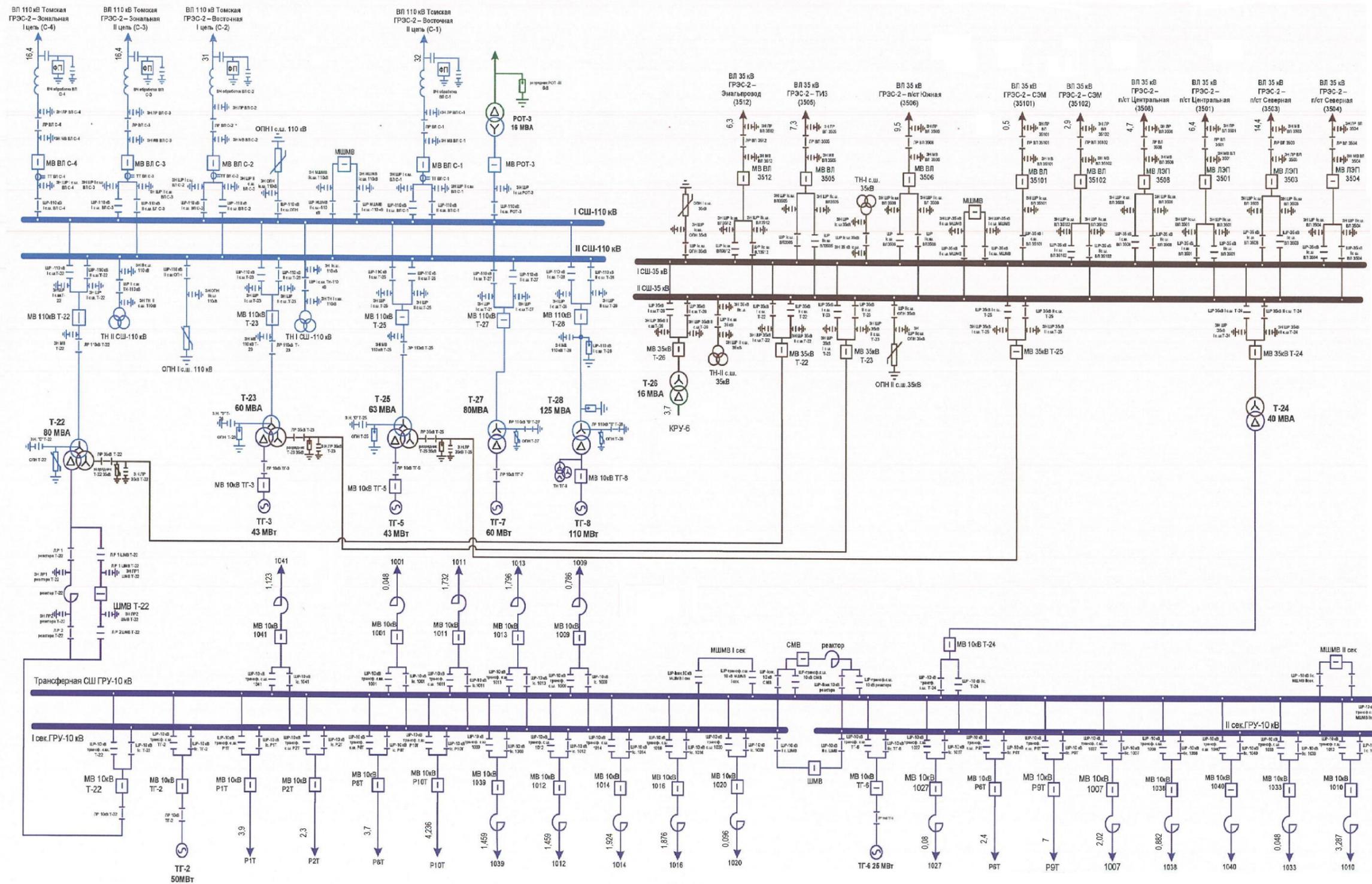


Рисунок А.1 – Изображение нормальной схемы электрических соединений Томской ГРЭС – 2 с обозначением потребления активной мощности

Приложение Б

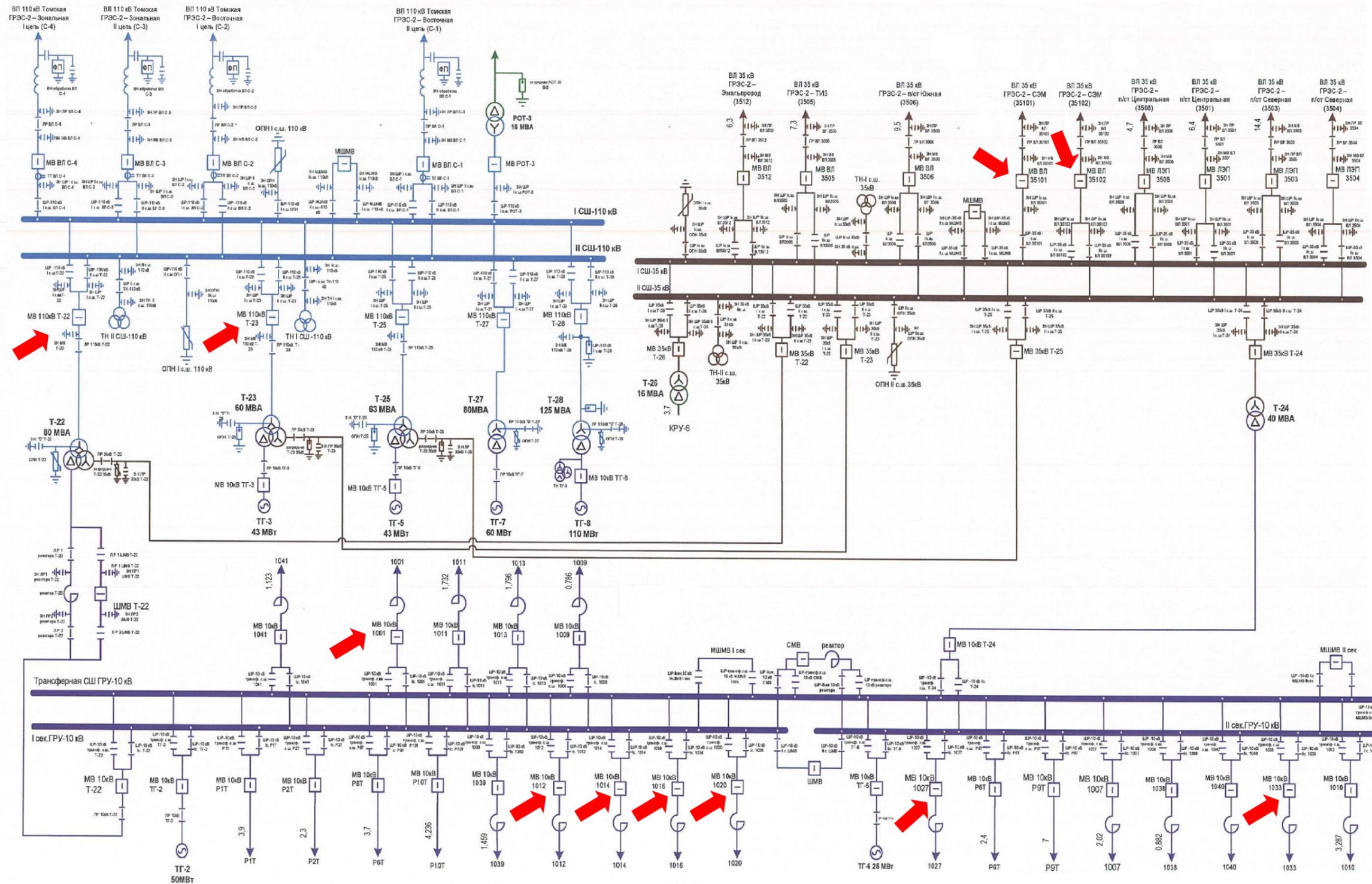


Рисунок Б.1 – Изображение нормальной схемы электрических соединений после выделения Томской ГРЭС – 2 на сбалансированную нагрузку с указанием сработавших выключателей и потреблением активной мощности