

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 – Электрических сетей и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование нормальных и предельных по статической устойчивости режимов части Кузбасской энергосистемы

УДК 621.311.004.001.5(571.17)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Утц Дария Альбертовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры электрических сетей и электротехники	Фикс Н.П.	к.пед.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	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 международных 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 международных 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 международных 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 международных 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 международных 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 международных 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

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
		международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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) Прохоров А.В.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Г	Утц Дарии Альбертовне

Тема работы:

:

Моделирование нормальных и предельных по статической устойчивости режимов части Кузбасской энергосистемы

Утверждена приказом

№ 3266/с от 27.04.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

9.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Схема электрических сетей Кузбасской энергосистемы; значения мощностей нагрузок; схемные параметры.
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>	Поиск источников по теме исследования (базы данных, например, Elsevier – ScienceDirect, SCOPUS, eLIBRARY.RU, сайты научных, образовательных и промышленных центров); перевод статей на русский язык; составление плана исследования; аналитический обзор источников по теме исследования; выбор части схемы для моделирования режимов; описание объекта; цели и постановка задач исследования; построение модели части Кузбасской энергосистемы в

	программном комплексе; расчёт нормальных и предельных по статической устойчивости режимов, анализ результатов расчёта режимов, определение коэффициентов запаса статической устойчивости; анализ результатов и перспектив выполненного исследования, заключение.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Схема электрических сетей части Кузбасской энергосистемы; результаты расчёта и анализа нормальных и предельных по статической устойчивости режимов.
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: нет	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры электрических сетей и электротехники	Фикс Н. П.	к. пед. н.		09.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Утц Дария Альбертовна		09.02.2016

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

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования – Бакалавриат

Кафедра Электрические сети и электротехника

Период выполнения – Весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

9.06.2016

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела
17.02.2016	Поиск источников по теме исследования; перевод статей на русский язык; составление плана исследования; аналитический обзор источников по теме исследования; выбор части схемы для моделирования режимов	15
24.02.2016	Описание объекта; цели и постановка задач исследования; построение модели части Кузбасской энергосистемы в программном комплексе	10
30.03.2016	Расчёт нормальных и предельных по статической устойчивости режимов	30
13.04.2016	Анализ результатов расчёта режимов, определение коэффициентов запаса статической устойчивости	20
20.04.2016	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
27.04.2016	Социальная ответственность	10
04.05.2016	Анализ результатов и перспектив выполненного исследования, заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры электрических сетей и электротехники	Фикс Н.П.	к. пед. н.		09.02.2016

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электрических сетей и электротехники	Прохоров А.В.	к. т. н.		09.02.2016

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Г	Утц Дарии Альбертовне

Институт	Энергетический	Кафедра	Электрических сетей и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 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	Проект выполняется на базе ТПУ, количество участников проекта – 2 человека. Для проведения исследования используется компьютерное оборудование на базе лаборатории ТПУ общей стоимостью 105 тыс. руб.
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.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Технико-экономическое обоснование НТИ
2. Разработка устава научно-технического проекта	Работа выполняется в рамках ВКР, разработка устава не требуется
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Организация и планирование научно-исследовательских работ, расчет затрат на проведение исследования (бюджет НТИ)
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности исследования	Оценка научного уровня исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Календарный план-график проведения работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.02.2016
--	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Утц Дария Альбертовна		09.02.2016

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Г	Утц Дарии Альбертовне

Институт	Энергетический	Кафедра	Электрические сети и электротехника
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	-Предметом исследования является Томская энергосистема, данный объект по степени опасности поражения электрическим током относится к особо опасным помещениям -вредные проявления (сильные электромагнитные поля, повышенный уровень шума на рабочем месте, повышенная температура воздуха на рабочем месте) -опасные проявления (наличие вращающихся и движущихся частей механизмов и машин; опасные уровни напряжения в электрических цепях, замыкание которых может пройти через тело человека; наличие агрессивных и легковоспламеняющихся жидкостей).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	ГОСТ, СНИП

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Анализ вредных факторов и средства коллективной и индивидуальной защиты: - температура воздуха; - относительная влажность воздуха; - скорость движения воздуха; - температура окружающих поверхностей; - шум; - освещение.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Охрана окружающей среды: – анализ воздействия объекта на атмосферу – анализ воздействия объекта на гидросферу; – анализ воздействия объекта на литосферу; – разработка решения по обеспечению экологической безопасности.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – способы защиты; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны): – электробезопасность на рабочем месте; – микроклимат производственного помещения; – метеорологические условия на рабочем месте.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.02.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Амелькович Ю.А.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Утц Дарии Альбертовне		09.02.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа 109 страниц, 10 рисунков, 17 таблиц, 21 источник, 3 приложения.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, установившийся режим, утяжеление, статическая устойчивость, коэффициент запаса статической устойчивости.

Объектом исследования является Кузбасская энергосистема.

Предметом исследования являются нормальные и предельные по статической устойчивости режимы.

Цель работы – расчет и анализ нормальных режимов работы Кузбасской энергосистемы, а также исследование предельных по статической устойчивости режимов, расчёт коэффициентов запаса статической устойчивости.

В процессе исследования проводились моделирование Кузбасской энергосистемы в ПК RastrWin3, расчет нормальных, послеаварийных и утяжеленного режимов.

Теоретическая и практическая значимость работы: полученные результаты могут быть использованы в учебном процессе, в частности возможно применение в электронном курсе «Электроэнергетические системы и сети».

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ RastrWin3, MS Excel в текстовом редакторе MS Word и представлена на компакт-диске (в конверте на обороте обложки).

Abstract

Graduate qualification work has 109 pages, 10 figures, 17 tables, 21 references, 3 appendixes.

Key words: electrical power system, steady-state regime, steady-state stability, depredation factor of steady-state stability, loading.

The object of the research is a part of the scheme of Kuzbass electric power system.

The work purpose is investigation of operation regimes of Kuzbass electrical grids, analysis of the static stability limit regimes, and calculation of the safety factors of static stability.

In the course of the research calculation and analyzing of the operation regime in the program Rastrwin were carried out.

Major characteristic: the number of nodes, the numerical value of power and voltage.

Содержание

Реферат	11
Введение.....	15
1. Теоретические аспекты исследования нормальных и предельных по статической устойчивости режимов энергосистемы.....	16
1.1. Понятие режима энергосистемы	16
1.2. Понятие устойчивости энергосистем.....	17
1.2.1. Статическая апериодическая устойчивость	18
1.2.2. Статическая колебательная устойчивость.....	19
1.2.3. Динамическая устойчивость	23
1.3. Методы исследования статической устойчивости	27
1.3.1. Метод малых колебаний.....	30
1.3.2. Необходимые и достаточные условия устойчивости систем	32
1.3.3. Алгебраические критерии устойчивости.....	34
1.3.3.1. Критерий Гурвица	36
1.3.3.2. Критерий Михайлова	37
1.3.3.3. D-разбиение	40
1.3.4. Метод утяжеления.....	43
1.4. Программное обеспечение для анализа устойчивости	45
2. Расчет и анализ нормальных, аварийных и утяжеленных режимов Кузбасской энергосистемы	51
2.1. Постановка задачи и исходные данные	51
2.2. Расчет нормального по статической устойчивости режима	53
2.3. Расчет режима максимальных нагрузок	54
2.4. Расчет режима минимальных нагрузок.....	54
2.5. Расчет послеаварийного режима	55
2.6. Расчет утяжеленного режима	56

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	65
3.1 Техничко-экономическое обоснование исследования.....	65
3.2. Организация и планирование научно-исследовательских работ.....	66
3.2.2. Расчёт затрат на проведение НТИ	71
3.2.2.1. Расчет материальных затрат НТИ.....	71
3.2.2.2. Тарифный фонд заработной платы по месяцу оклад работника	73
3.2.2.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы	74
3.2.2.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	75
3.2.2.5. Накладные расходы	76
3.2.2.6. Амортизационные затраты	76
3.3. Формирование сметы технического проекта.....	76
3.4. Оценка научного уровня	77
4. Социальная ответственность	80
4.1. Производственная безопасность.....	81
4.1.1. Анализ вредных и опасных факторов.....	81
4.1.1.1. Микроклимат.....	82
4.1.1.2. Электромагнитное излучение.....	86
4.1.1.3. Повышенный уровень шума.....	88
4.1.1.4. Вибрация.....	88
4.1.1.5. Освещение	90
4.1.2. Меры по снижению и устранению опасных факторов	91
4.1.2.1. Электрический ток.....	91
4.1.2.2. Пожарная безопасность.....	95
4.2. Экологическая безопасность	97
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	100
3.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	102
4.5. Выводы по разделу 4	102

Заключение.....	100
Список используемых источников.....	105
Приложение А (обязательное) – Исходные данные по трансформаторам и ВЛ Кузбасской ЭС.....	109
Приложение Б (обязательное) – Расчетные данные нормальных режимов Кузбасской ЭС в ПК RastrWin.....	119
Приложение В (обязательное) – Расчетные данные послеаварийных режимов работы Кузбасской ЭС в ПК RastrWin.....	129

Введение

Мониторинг электрического режима, обеспечение устойчивости и надежности режима электроэнергетической системы (ЭЭС) являются важнейшими задачами электроэнергетики и диспетчерского управления ЭЭС. Эти задачи решаются с помощью проведения расчетов установившихся режимов и переходных режимов, в результате которых формируются ограничения по условиям устойчивости и область допустимых режимов электроэнергетической системы.

Изучение, анализ и совершенствование методов и средств обеспечения устойчивой работы электроэнергетических сетей сохраняют свою актуальность, в связи с ростом энергопотребления, развитием и усложнением ЭЭС.

В данной выпускной квалификационной работе представлен обзор методов и средств определения статической устойчивости, а также расчет и анализ режимов Кузбасской энергетической сети.

Расчет и анализ устойчивости энергосистем является важным шагом при проектировании электроэнергетических сетей, а также при их эксплуатации и управлении. От правильности расчетов устойчивости во многом зависит надежность и экономичность функционирования энергосистемы.

1. Теоретические аспекты исследования нормальных и предельных по статической устойчивости режимов энергосистемы

1.1. Понятие режима энергосистемы

Режимом энергетической системы называется некоторое ее состояние, характеризующееся значениями мощностей, токов, напряжений и других переменных величин и определяющее процессы преобразования, передачи и распределения электрической энергии. Переменные величины при этом называют параметрами режима [1]. Диспетчерское управление энергетической системой было бы невозможно, если бы режимы работы системы не были заранее разработаны. Основные функции диспетчера при наличии разработанных соображений о режиме работы системы ограничиваются: вводом режимных параметров в допустимую область, резервированием питания потребителей в послеаварийных ситуациях.

Для энергетической системы должны быть исследованы не только нормальные режимы работы, но и всевозможные послеаварийные режимы с целью разработки мероприятий по предотвращению возникновения аварий, а также с целью наибольшего ограничения их вредных последствий.

Также для энергетической системы должно быть исследовано увеличение электрических нагрузок, так как это предопределяет решение задач на оценку текущей пропускной способности сетей, а также запаса пропускной способности.

1.2. Понятие устойчивости энергосистем

Устойчивость энергосистем – способность электроэнергетической системы сохранять между электростанциями синхронный режим работы, т.е. способность системы восстанавливать исходный установившийся режим после различного рода отклонений [2].

Нарушение нормального установившегося режима энергосистемы происходит вследствие различного рода причин: короткие замыкания, внезапные набросы или сбросы нагрузки, отключения генераторов на станциях. Всё это, как правило, приводит к нарушению устойчивости системы, что в свою очередь является одной из наиболее тяжелых аварий, которая может привести к перебоям питания потребителей. Таким образом, изучение устойчивости является актуальной проблемой энергетики России.

Различают два вида устойчивости: статическую и динамическую.

Статическая устойчивость – это способность электроэнергетической системы восстанавливаться после небольших возмущений исходного нормального установившегося режима, либо сохранять близкий к устойчивому режим, если возмущение не было устранено [3].

Динамическая устойчивость энергосистемы характеризует способность системы сохранять синхронизм после внезапных и резких изменений параметров режима или при авариях в системе – коротких замыканиях, отключений генераторов, линий или трансформаторов. После таких нарушений в системе возникает переходный процесс, по окончании которого вновь должен наступить установившийся послеаварийный режим работы [3].

Параметры установившегося режима ЭС не являются неизменными, так как в ней имеется огромное количество нагрузок, изменяющихся непрерывно. В связи с этим на генераторах системы появляются

дополнительные незначительные моменты ΔM , уменьшающие или увеличивающие моменты, действующие на валах генераторов и смещающие их роторы на некоторые углы $\Delta\delta$.

Таким образом, в ЭС постоянно происходят малые возмущения, причина которых и место возникновения не фиксированы. Это свободные возмущения, которые могут быть нарастающими или затухающими, колебательными или апериодическими. Апериодическими называются нарушения, при которых отклонение режимных параметров ЭС изменяются монотонно от значений, соответствующих равновесию, а колебательное нарушение характеризуется периодическим изменением параметров режима от значений, которые были во время устойчивого нормального режима [2].

1.2.1. Статическая апериодическая устойчивость

При исследовании апериодической статической устойчивости предполагается незначительной вероятность нарушения устойчивости колебательного типа при увеличении перетока по межсистемным связям, таким образом, можно пренебречь самораскачиванием. При таком допущении динамические свойства можно не учитывать. Нарушение устойчивости может носить только апериодический характер [6].

Основная причина сползания недостаточная пропускная способность сети. Под сползанием (текучестью) понимают, самопроизвольное медленное изменение параметров нормального режима системы в начале процесса, при неустойчивом установившемся режиме электрической системы, под действие малых возмущений. Условия возникновения текучности выявляются из анализа соотношений, характеризующих нормальный режим системы [4].

Цель исследования статической апериодической устойчивости заключается, в определении области апериодически устойчивых режимов. К основным задачам исследования можно отнести определение пропускной

способности линии, поиск сечений. Для определения области апериодически устойчивости энергосистемы необходимо произвести утяжеление режима. Метод утяжеления заключается в последовательном изменении параметров узлов или ветвей, или их групп заданными шагами с последующим расчетом нового установившегося режима на каждом шаге изменения.

1.2.2. Статическая колебательная устойчивость

Основная причина возникновения колебательной неустойчивости – это неправильный выбор структуры или настроечных параметров средств автоматического регулирования (САР). К нарушению колебательной устойчивости также приводит возникновение малых колебаний и, как следствие, качания ротора генератора с возрастанием амплитуды, то есть возникает самораскачивание.

Причиной самораскачивания может быть большое активное сопротивление в цепи, неправильный выбор параметров регуляторов скорости или регуляторов возбуждения. При увеличении скорости появляется дополнительный, вращающий момент на роторе. Данный момент объясняется набросом дополнительной мощности от первичного двигателя. В ряде случаев такой дополнительный момент может появиться за счет запасенного некоторого значения электромагнитной энергии, освобождающегося во время переходного процесса. [3]

Перераспределение электромагнитной энергии будет отражено в колебательном «раскачивающемся» движении ротора, аналогично самораскачиванию, которое возникает под действием регуляторов скорости или регуляторов возбуждения, изменяющих подачу энергии в систему. Самораскачивание особенно заметно проявляется при малых нагрузках и

большом возбуждении генераторов и при заметном активном сопротивлении в цепи статора, которое тем больше, чем меньше мощность генератора [4].

Рассмотрим простейшую одномашинную модель (рисунок 1 а) энергосистемы. Эта модель представляется одной удаленной электростанцией (эквивалентным генератором), работающей через трансформаторные связи и линии электропередач параллельно с генераторами мощности концентрированной энергосистемы, столь мощной, что ее приемные шины обозначаются как шины бесконечной мощности (ШБМ) [7].

Схема замещения имеет вид цепочки индуктивных сопротивлений включенной между двумя источниками ЭДС (рис. 1 б), при принятых допущениях ($r = 0$; $g = 0$; $b = 0$).

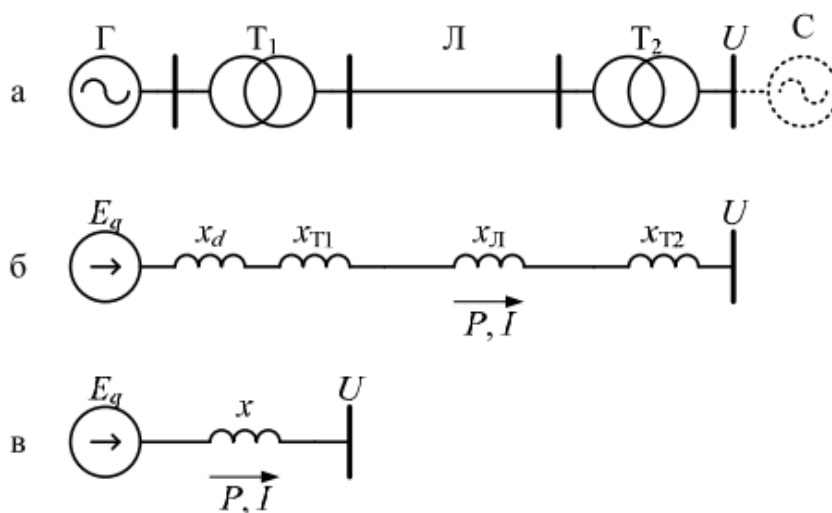


Рисунок 1 – Одномашинная модель энергосистемы

Взаимосвязь между P , модулями E_q , U и углом δ можно определить с помощью диаграммы напряжений, ЭДС и токов (рисунок 2), действующих в эквивалентной схеме замещения.

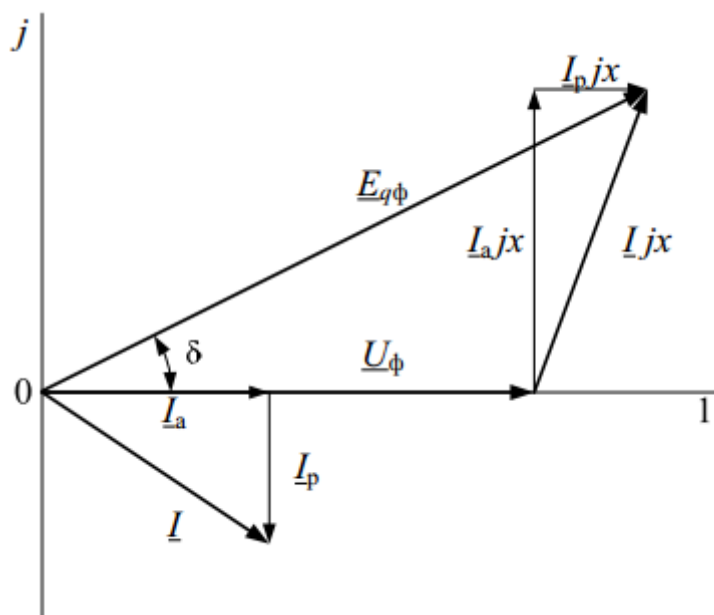


Рисунок 2 – Векторная диаграмма параметров режима одномашинной энергосистемы

Из диаграммы следует, что модуль поперечной составляющей $\underline{I} jx$ определяется соотношением:

$$I_a x = E_{q\phi} \sin \delta$$

Умножив обе части этого равенства на $3U_\phi/x$:

$$3U_\phi I_a = \frac{3E_{q\phi} U_\phi}{x} \sin \delta = \frac{E_q U}{x} \sin \delta$$

Учитывая, что трехфазная мощность определяется как $P = 3U_\phi I_a$, представим последнее равенство в виде зависимости:

$$P = \frac{E_q U}{x} \sin \delta$$

При $E_q = \text{const}$, $U = \text{const}$ активная мощность представляет собой синусоидальную функцию. График этой функции называется угловой характеристикой активной мощности генератора. Для рассмотрения понятия о статической устойчивости достаточно отрезка функции $P(\delta)$ в пределах положительного полупериода синусоиды (рисунок 3) [7].

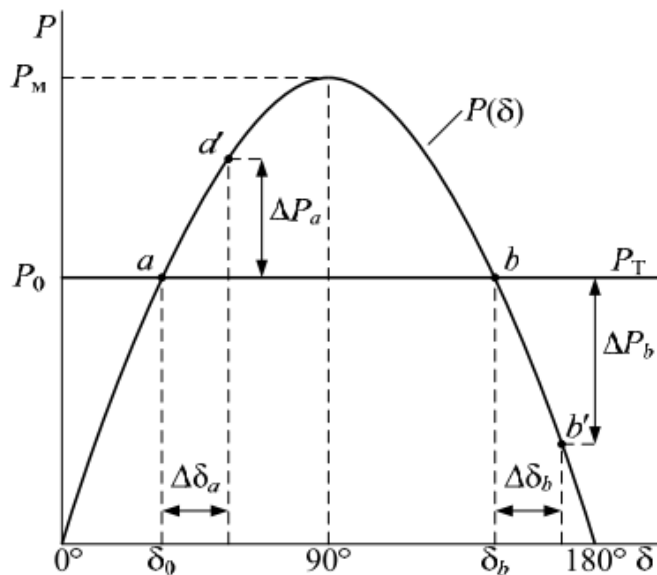


Рисунок 3 – Угловая характеристика генератора

В установившемся режиме от генератора передается одна конкретная величина мощности $P_0 = P_T$, из-за чего турбина, вал и ротор генератора вращаются равномерно. Таким образом, в установившемся режиме на вал действуют два одинаковых по абсолютной величине, но противоположных по направлению вращающих момента.

На рисунке 3, отмечены две точки a и b , которые являются пересечением характеристики турбины P_T и угловой характеристики $P(\delta)$ генератора. Рассмотрим вопрос о возможности устойчивой работы в этих точках [3].

Предположим, что точка a характеризует установившийся режим генератора. При случайном увеличении мощности на некоторую величину и соответствующем увеличении угла, произойдет нарушение равенства моментов, действующих на вал, причём тормозящий электромагнитный момент генератора будет больше ускоряющего момента турбины. Ротор замедлится под действием избыточного тормозящего момента, что в свою очередь будет сопровождаться уменьшением отдаваемой в сеть активной мощности генератора и уменьшением угла. Процесс будет продолжаться,

пока система не вернется к исходному режиму, характеризуемому точкой a [6].

Следовательно, при работе в точке a режим энергосистемы статически устойчив, потому как система способна вернуться в исходное состояние при действии малых возмущений.

Рассмотрим процессы, происходящие в точке b . Здесь, незначительное увеличение угла приведет к уменьшению отдаваемой в сеть активной мощности. При случайном переходе в точку b' , мощность генератора станет меньше мощности турбины на некоторую величину. Соответственно, тормозящий электромагнитный момент генератора окажется меньше ускоряющего механического момента турбины, поэтому ротор генератора будет ускоряться. Вследствие этого произойдет увеличение угла δ , что приведет к увеличению небаланса мощностей. Дальнейшее развитие процесса имеет лавинообразный характер и в завершении произойдет выпадение удалённого генератора из синхронизма с генераторами энергосистемы. Из чего можно сделать вывод, что состояние энергосистемы, соответствующее точке b , является неустойчивым.

1.2.3. Динамическая устойчивость

Динамическая устойчивость – это способность ЭС возвращаться в исходное состояние после больших возмущений.

Различают два вида динамической устойчивости:

1) Синхронная устойчивость – сохранение режима при больших колебаниях, но без проворота (180^0 - 360^0) ротора генератора.

2) Результирующая устойчивость – восстановление режима после кратковременного нарушения (например, при работе в течение некоторого времени генераторов электрической системы или ее части не синхронно), но при восстановлении нормальной синхронной работы после нескольких

проворотов ротора. Это восстановление может происходить самостоятельно в силу внутренних свойств систем или под действием специальных устройств системной автоматики. [3]

Любое внезапное нарушение режима энергосистемы, состоящей из электростанций, ЛЭП и нагрузок, вызывает качания синхронных машин (генераторов, синхронных двигателей и компенсаторов). При неблагоприятных условиях размах колебаний может получиться настолько большим, что отдельные машины или группы машин выпадут из синхронизма [4].

Рассмотрим причины возникновения качаний.

1) Аварии в энергосистеме, в большинстве случаев, характеризуются внезапным увеличением или снижением мощности, которую электростанции отдают в систему. Так как любой регулятор Как правило, аварии в ЭС сопровождаются внезапным изменением мощности, отдаваемой электростанциями в сеть. Регуляторы первичных двигателей обладают инерцией и могут реагировать на изменение мощности или, точнее, на изменение частоты вращения машины с запаздыванием. В результате равновесие между мощностью, отдаваемой генераторами, и мощностью, развиваемой первичными двигателями нарушается, и на валу машин возникают избыточные моменты, вызывающие изменение скорости вращения и относительное перемещение роторов.

2) Скачкообразное изменение нагрузки вследствие отключения ЛЭП, трансформатора, генератора, или при коротком замыкании (КЗ).

Из перечисленных видов аварий наиболее опасным возмущением являются КЗ, поэтому анализ динамической устойчивости должен проводиться с учетом аварийных режимов, вызванных короткими замыканиями.

В требованиях к устойчивости энергосистем, наиболее тяжелые возмущения, называемые нормативными возмущения, подразделены на три группы (табл.1).

Таблица 1 –Распределение возмущений по группам

Возмущения	Группы нормативных возмущений в сетях с ном напряжением, кВ:			
	110-220	330-500	750	1150
<i>КЗ на сетевом элементе, кроме системы (секции) шин:</i>				
Отключение сетевого элемента основными ¹ защитами при однофазном КЗ с успешным АПВ (для сетей 330 кВ и выше - О АПВ. 110-220 кВ - ТАПВ)	I	I	I	I
То же, но с неуспешным АПВ ²	I	I	I ³ , III	II
Отключение сетевого элемента основными защитами при трехфазном КЗ с успешным и неуспешным АПВ ^{2 1)}	II	-	-	-
Отключение сетевого элемента резервными защитами при однофазном КЗ с успешным и неуспешным АПВ ²	II	-	-	-
Отключение сетевого элемента основными защитами при двухфазном КЗ на землю с неуспешным АПВ ²	-	II	III	III
Отключение сетевого элемента действием УРОВ при однофазном КЗ с отказом одного выключателя ⁴	II	III	III	III
То же. но при двухфазном КЗ на землю	-	III	III	-
То же. но при трехфазном КЗ	III	-	-	-
<i>КЗ на системе (секции) шин:</i>				
Отключение СШ с однофазным КЗ. не связанное с разрывом связей между узлами сети	I	I	II	II
То же .но с разрывом связей	III	III	-	-

При исследовании динамической устойчивости особое внимание уделяется процессам в генераторах, поскольку именно они определяют характер переходного процесса в системе [1].

Электромагнитные переходные процессы в синхронных генераторах описываются при использовании системы координат d, q уравнениями, получившими название уравнений Парка-Горева.

$$\begin{aligned}
U_d &= -r \cdot i_d - \frac{d\psi_d}{dt} - \omega \psi_q - \psi_q \omega_s; \\
U_q &= -r \cdot i_q - \frac{d\psi_q}{dt} + \omega \psi_d + \psi_d \omega_s; \\
U_f &= r_f \cdot i_f + \frac{d\psi_f}{dt}; \\
T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} &= M_M - r_q \cdot \psi_d + r_d \cdot \psi_q;
\end{aligned}
\tag{1.3.1}$$

где: U_d , U_q – продольная и поперечная составляющие напряжения в осях d и q ; $r \cdot i_d$ и $r \cdot i_q$ – падения напряжения в продольной и поперечной обмотке статора; $\frac{d\psi_d}{dt}$ и $\frac{d\psi_q}{dt}$ – функции потокосцепления или трансформаторные ЭДС; U_f – напряжение обмотки возбуждения, $r_f \cdot i_f$ – падение напряжения на активном сопротивлении обмотки возбуждения; $\frac{d\psi_f}{dt}$ – ЭДС, индуцируемая в обмотке возбуждения; $\psi_d \omega_s, \psi_q \omega_s$ – ЭДС скольжения; $\psi_d \omega, \psi_q \omega$ – ЭДС синхронного вращения; T_j – механическая постоянная инерции; M_M – вращающий момент.

Первые три выражения – уравнения напряжений синхронной машины в осях d и q обмотки возбуждения соответственно. Последнее выражение – уравнение движения ротора.

Эти уравнения дают полную характеристику переходных процессов и отражают изменения периодических и аperiodических составляющих токов, а также свободных токов, возникающих в замкнутых контурах машины при появлении скольжения между ротором и полем реакции якоря [3].

При использовании модели синхронной машины, на основании преобразований Парка-Горева, уравнения (1.3.1) упрощают, пренебрегая

активным сопротивлением обмотки статора, ЭДС трансформации и ЭДС скольжения. Приближенное описание переходных процессов дается упрощенными уравнениями Парка-Горева.

$$\begin{aligned} U_d &= -\psi_q \omega; \\ U_q &= \psi_d \omega; \\ T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} &= P_{\text{мех}} - P_{\text{эл}}; \\ \frac{dE'_q}{dt} &= \frac{E_{qe} - E_q}{T_{d0}} \end{aligned} \quad (1.3.2)$$

Динамическая устойчивость генераторов оценивается с точки зрения сохранения режима выдачи мощности в сеть (без нарушения синхронизма) в случае внезапного нарушения рабочего режима [7].

Если выпавший из синхронизма генератор не отключается от сети, то и, работая в асинхронном режиме, он выдает в сеть некоторую мощность, а входя в синхронизм путем ресинхронизации (восстановление синхронизма машин в процессе асинхронного режима), он быстро увеличивает мощность [8].

Если генератор вышел из синхронизма и некоторое время проработал в асинхронном режиме, а затем восстановил свою синхронную работу, близкую к параметрам исходного режима, то такой генератор нельзя в полном смысле считать неустойчивым, его следует рассматривать как генератор, обладающий результирующей устойчивостью, поскольку нарушения электроснабжения потребителей не происходит [7].

1.3. Методы исследования статической устойчивости

В ЭС постоянно происходят малые возмущения, причина которых и место возникновения не фиксированы. Эти свободные возмущения,

вызывающие соответственно свободные движения, могут быть нарастающими или затухающими, колебательными или аperiodическими.

Для решения задач оценки статической устойчивости, проверяется устойчивость заданного нормального установившегося режима, затем определяется предельный по статической устойчивости режим электрической системы, с учетом всех параметров режима, анализируются и рассчитываются показатели качества переходного процесса.

При решении задач синтеза определяются тип системы возбуждения и его регулирования, закон регулирования, параметры системы возбуждения и регуляторов. При этом исходят из заданных требований к предельно устойчивому режиму или качеству электроэнергии в установившемся режиме, т. е. точность поддержания напряжения и других параметров режима.

Задача определения условий статической устойчивости и характера переходных процессов достаточно сложная, для реальных электрических систем, которые имеют автоматические регуляторы возбуждения и скорости. Для облегчения решения этой задачи применяют различные математические приемы и методы. Одним из самых распространенных методов исследования колебательной устойчивости является метод малых колебаний с применением специальных критериев, которые оценивают знаки действительных корней, или действительных частей комплексно – сопряженных корней характеристических уравнений, и таким образом, определяют характер переходного процесса [5].

Для исследования всех видов устойчивости (включая результирующую) В схемах с небольшим числом генераторов при учете влияния регуляторов скорости, возбуждения и более полном учете характеристик генераторов может быть применено математическое моделирование. Физические модели, моделируя процессы, исследование которых связано с определением устойчивости, позволяют проводить

экспериментальные исследования устойчивости с выявлением влияния ряда факторов, математическое описание которых затруднено.

Расчетная схема (схема замещения) электрической системы составляется из схем замещения отдельных элементов системы, связанных друг с другом так же, как соединены соответствующие элементы рассматриваемой системы. В зависимости от характера решаемой задачи параметры элементов схемы замещения принимаются для рассматриваемого периода процесса либо неизменными, либо зависящими от того или иного параметра режима системы [5].

Схемы замещения электрических систем могут входить в отдельных случаях также элементы, представляющие собой предварительно преобразованные схемы отдельных участков системы. Эти элементы, в сущности, являющиеся обобщенными схемами таких участков, обычно имеют вид многоугольников с диагоналями и нагрузочными сопротивлениями в вершинах

При анализе устойчивости схемы энергосистем целесообразно упрощать, приводя их к схемам с меньшим количеством элементов.

Упрощения могут проводиться как с помощью специально разработанных методов эквивалентирования, так и на основании имеющегося опыта расчетов и опыта эксплуатации. В сложных энергосистемах упрощения следует проводить в несколько этапов: при составлении схемы коммутации, при составлении схемы замещения системы и, наконец, при расчете режима энергосистемы. Упрощения и расчеты схем замещения следует проводить по правилам эквивалентирования, разнося нагрузки в близлежащие точки по правилу моментов, преобразовывая звезду в треугольник или обратно, выполняя последовательное и или параллельное сложение отдельных сопротивлений элементов энергосистемы и т. п.

1.3.1. Метод малых колебаний

Распространенным способом упрощения нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих электромеханические переходные процессы электроэнергетических систем, является линеаризация этих уравнений. Различают линеаризацию «в большом» и линеаризацию «в малом» [2].

При линеаризации «в большом» нелинейная зависимость заменяется кусочно-линейной. Например, синусоида представляется в виде трапеции (рис. 4).

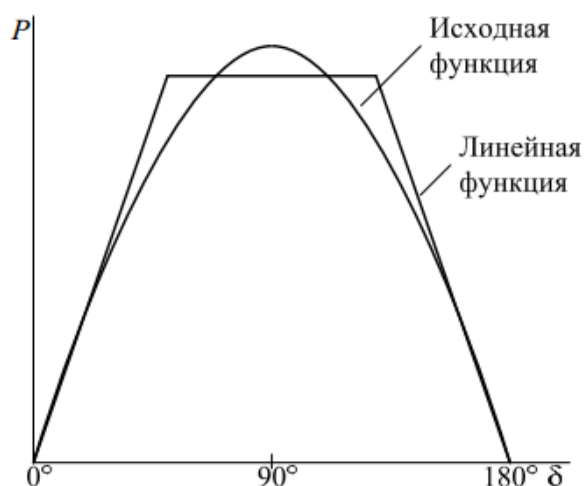


Рисунок 4 – Кусочно-линейное представление синусоидальной зависимости [2].

Линеаризация «в большом», как правило, подходит для исследовательских работ для анализа динамической устойчивости.

При линеаризации «в малом» исходную нелинейную функцию заменяют линейной зависимостью на бесконечно-малом отрезке в окрестности точки либо какой-то функции. Если речь идет о статической устойчивости, эта точка описывает исследуемый нормальный установившийся режим.

Метод исследования статической устойчивости энергосистем, опирающийся на линеаризацию «в малом», называется методом малых

колебании. При этом под малыми колебаниями подразумеваются изменения малых линейных приращений параметров режима энергосистемы в окрестности точки, изображающей исследуемый установившийся режим. Численные значения параметров этого режима рассматриваются в качестве координат изображающей точки в многомерном пространстве.

Для полной характеристики малых колебаний параметров режима требуется получение частных решений системы линейных дифференциальных уравнений, получаемых в результате линеаризации «в малом».

По общему решению системы линейных дифференциальных уравнений можно определить тенденцию к развитию процессов. Если оказывается, что малые приращения параметров режима самопроизвольно, при отсутствии возмущающих воздействий на систему, не возрастают, то энергосистема работает в устойчивом режиме. Если же эти приращения имеют тенденцию к возрастанию, то режим системы неустойчив.

Из общей характеристики метода малых колебаний следует, что при его применении необходимо выполнить следующие действия:

- 1) провести расчет установившегося режима и таким образом определить координаты изображающей точки;
- 2) составить систему дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих электромеханические процессы;
- 3) провести линеаризацию «в малом» дифференциальных и алгебраических уравнений;
- 4) составить характеристическое уравнение полученной системы дифференциальных и алгебраических уравнений и определить его корни;
- 5) по виду корней характеристического уравнения определить тенденцию развития процессов в электроэнергетической системе и сделать заключение об устойчивости (или неустойчивости) исследуемого установившегося режима.

1.3.2. Необходимые и достаточные условия устойчивости систем

Рассмотрим устойчивость нормальной однородной системы дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами

$$\dot{X} = AX \quad (2.2.1)$$

Где A — квадратная матрица коэффициентов; X и $\dot{X}$ — соответственно, вектор–функции зависимых переменных и их производных. Общее решение этой системы есть линейная комбинация векторных функций

$$X(t) = C_1 X_1(t) + C_2 X_2(t) + \dots + C_n X_n(t) \quad (2.2.2)$$

где $C_i, i = \overline{1, n}$ — постоянные (вещественные или комплексные) коэффициенты, определяемые из начальных условий; $X(t), i = \overline{1, n}$ — вектор – функции решений:

$$X_i(t) = \begin{bmatrix} k_{1i} e^{p_i t} \\ k_{2i} e^{p_i t} \\ \vdots \\ k_{ni} e^{p_i t} \end{bmatrix} = e^{p_i t} \begin{bmatrix} k_{1i} \\ k_{2i} \\ \vdots \\ k_{ni} \end{bmatrix}, i = \overline{1, n} \quad (2.2.3)$$

При этом числа $p_i, i = \overline{1, n}$ являются корнями характеристического уравнения

$$D_{\Delta}(p) = \det(A - P) = 0 \quad (2.2.4)$$

где P — диагональная матрица.

По виду корни характеристического уравнения (2.2.4) делятся на простые:

- вещественные $p_i = \alpha_i$;
- мнимые $p_{i,i+1} = \pm j\omega_i$;
- нулевые $p_i = 0$;

— комплексные $p_{i,i+1} = \alpha_i \pm j\omega_i$,

и кратные, когда несколько корней имеют одно и то же значение.

Очевидно, что различным по виду корням характеристического уравнения (2.2.4) будут соответствовать и различные составляющие в общем решении (2.2.4) рассматриваемой системы дифференциальных уравнений. Так, например, положительному вещественному корню $\alpha_i > 0$ будет соответствовать возрастающая экспонента $e^{p_i t}$, в то время как для отрицательного вещественного корня соответствующая составляющая в решении (2.2.3) будет иметь вид убывающей экспоненты. Пара мнимых корней дает синусоидальную зависимость с постоянной амплитудой. Для пары комплексно – сопряженных корней синусоидальная зависимость будет либо возрастать при $\alpha_i > 0$, либо убывать при $\alpha_i < 0$ [5].

Если среди комплексно – сопряженных корней присутствует пара, имеющая $\alpha_i > 0$, то составляющая решения, определяемая этой парой, имеет вид экспоненциально нарастающих во времени колебаний. Исследуемый режим системы в этом случае статически неустойчив, происходит колебательное нарушение устойчивости.

В практических исследованиях при появлении любых корней на мнимой оси плоскости корней обычно считают, что система находится на границе статической устойчивости.

Необходимые и достаточные условия устойчивости решения линейной однородной системы (2.2.2), таким образом, формулируются так:

«Для устойчивости решения линейной однородной системы дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами необходимо и достаточно, чтобы корни характеристического уравнения системы имели неположительные вещественные части, причем корни с нулевой вещественной частью были бы простыми» [5].

Из вышесказанного следует, что систему можно считать

устойчивой, если корни характеристического уравнения не будут располагаться на мнимой оси, а только в полуплоскости корней. На мнимой оси могут располагаться корни, при условии, что они будут простыми (рис. 5).

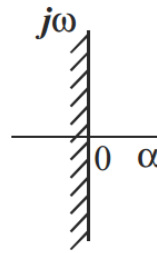


Рисунок 5 – Система координат для характеристического уравнения

Поскольку от системы дифференциальных уравнений n -го порядка можно перейти к одному дифференциальному уравнению с характеристическим уравнением

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0 \quad (2.2.5)$$

то справедлива также следующая формулировка:

«Для устойчивости решения линейного дифференциального уравнения n -го порядка с постоянными коэффициентами необходимо и достаточно, чтобы корни характеристического уравнения имели неположительные вещественные части, причем корни с нулевой вещественной частью были бы простыми» [2].

1.3.3. Алгебраические критерии устойчивости

Точный ответ на вопрос об устойчивости системы можно получить, вычислив все корни характеристического уравнения. Однако процедура вычисления корней для уравнений высокого порядка относится к разряду чрезвычайно трудоемких, поэтому разработан ряд

специальных математических условий, позволяющих без вычисления корней характеристического уравнения определить их местоположение на комплексной плоскости и таким образом точно ответить на вопрос об устойчивости или неустойчивости системы. Эти математические условия называются критериями устойчивости. Различают алгебраические и частотные критерии устойчивости.

Алгебраические критерии содержат группу условий, составленных коэффициентов характеристического уравнения $(a_0, a_1, \dots, a_n)$, при соблюдении которых имеет место устойчивость. Если же хотя бы одно из них нарушено, то имеет место неустойчивость. Для проведения анализа с помощью алгебраических критериев необходимо, очевидно, предварительно вычислить коэффициенты полинома в левой части характеристического уравнения (2.2.5) [2].

1.3.3.1. Критерий Гурвица

Система неравенств Гурвица строится следующим образом. Из коэффициентов характеристического многочлена n -ой степени (2.2.5) составляется квадратная матрица Гурвица n -ого порядка:

$$M_{\Gamma} = \begin{bmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-2} & a_n \end{bmatrix} \quad (2.3.1)$$

По главной диагонали располагают коэффициенты многочлена (2.2.5) в порядке их нумерации, начиная с a_1 до a_n . В строках помещают поочередно коэффициенты только с нечетными или только с четными индексами, причем влево от диагонали с уменьшающимися, вправо — с увеличивающимися индексами. Все недостающие коэффициенты, то есть коэффициенты с индексами меньше нуля или больше n , заменяются нулями. Необходимые и достаточные условия устойчивости заключаются в том, что все n диагональных миноров должны быть положительными. При этом под диагональными минорами понимаются определители диагональных подматриц, получаемых отчеркиванием их в матрице Гурвица, как показано в (2.3.1) [6]. Таким образом, система будет устойчива, если будут выполнены неравенства

$$\Delta_1 = a_1 > 0, \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0, \dots, \Delta_n = \det M_{\Gamma} > 0, \quad (2.3.2)$$

Заметим, что последний определитель Δ_n , который часто называют главным определителем Гурвица, вычисляется для всей матрицы Гурвица [5].

С помощью определителей Гурвица в случае неустойчивости системы можно определить количество корней характеристического уравнения, расположенных в правой полуплоскости. Для этого строится ряд из определителей

$$a_0, \Delta_1, \frac{\Delta_2}{\Delta_1}, \dots, \frac{\Delta_{n-1}}{\Delta_{n-2}}, \frac{\Delta_n}{\Delta_{n-1}} \quad (2.3.3)$$

и проверяются знаки в этом ряду. Количество перемен знаков в ряду (2.3.3) равно количеству корней характеристического уравнения, расположенных в правой полуплоскости на плоскости корней [3].

1.3.3.2. Критерий Михайлова

После подстановки $P = j\omega$ характеристический полином (2.2.5) становится характеристическим вектором, состоящим из вещественной и мнимой составляющих:

$$D(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega), \quad (2.3.4)$$

где

$$U(\omega) = a_n + a_{n-2}(j\omega)^2 + a_{n-4}(j\omega)^4 + \dots = a_n + a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4;$$

$$jV(\omega) = a_{n-1}(j\omega) + a_{n-3}(j\omega)^3 + a_{n-5}(j\omega)^5 + \dots = j(a_{n-1}\omega + a_{n-3}\omega^3 + a_{n-5}\omega^5).$$

При этом вещественная часть $U(\omega)$ является четной функцией относительно ω , то есть $U(\omega) = U(-\omega)$, а мнимая часть $V(\omega)$ является нечетной, так как $V(\omega) = -V(-\omega)$. При изменении ω конец характеристического вектора $D(j\omega)$ будет перемещаться по комплексной плоскости $(U(\omega), V(\omega))$ и описывать кривую, которая называется характеристической кривой или годографом характеристического вектора

(рис. 6).

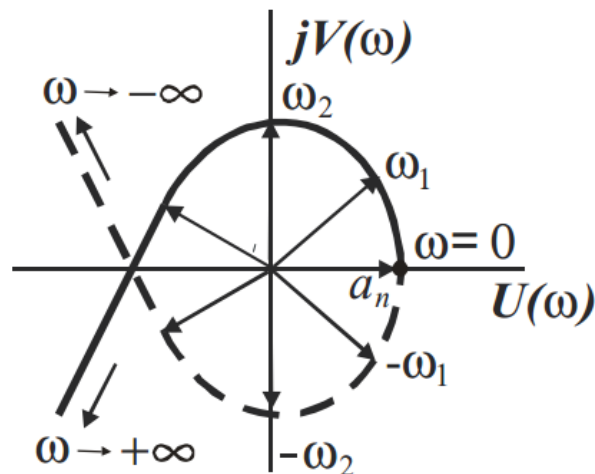


Рисунок 6 – Годограф характеристического вектора [3]

В силу четности $U(\omega)$ и нечетности $V(\omega)$ годограф характеристического вектора получается в виде двух ветвей, симметрично расположенных относительно оси $U(\omega)$. Поэтому в практических расчетах нет необходимости строить обе ветви. Одна ветвь, построенная при $0 \leq \omega < +\infty$, сохраняет то же название, как и вся кривая.

При $\omega = 0$ получаем $U(0) = a_n$, $V(0) = 0$, то есть обе ветви годографа Михайлова начинаются в точке, расположенной на положительной вещественной полуоси на расстоянии a_n от начала координат. При изменении ω от 0 до ∞ для устойчивой системы годограф Михайлова в соответствии с принципом аргумента повернется против часовой стрелки на угол $n\pi / 2$, поочередно обходя n квадрантов комплексной плоскости, где n – степень характеристического уравнения системы. Сообразно отмеченным особенностям критерий Михайлова формулируется следующим образом: линейная система n -го порядка устойчива, если при изменении ω от 0 до ∞ годограф Михайлова последовательно обходит n квадрантов комплексной плоскости против часовой стрелки, начинаясь в точке (a_n, j_0) на положительной вещественной полуоси и нигде не проходя через начало

координат [6]. Примеры годографов Михайлова для устойчивых систем показаны на рис. 7.

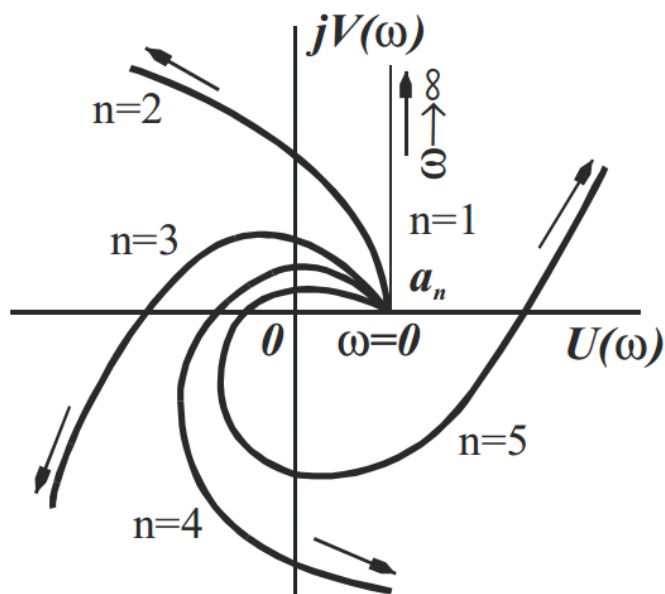


Рисунок 7 – Пример годографа Михайлова [3]

Если годограф Михайлова проходит через начало координат, это означает, что система находится на предельной границе колебательной устойчивости (кривая при $n = 5$ на рис. 2.6).

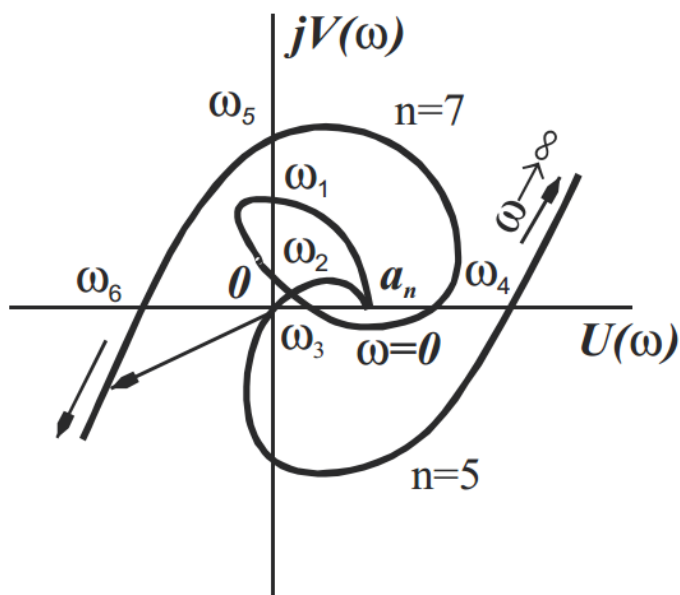


Рисунок 8 – Пример годографа Михайлова [3]

По годографу Михайлова можно определить количество корней

характеристического уравнения, однако, полной информации по предельному режиму, а также точные расчеты данным методом получить не представляется возможным.

1.3.3.3. D-разбиение

Сначала строятся граничные кривые и особые прямые линии, разделяющие пространство настроечных параметров на области, каждая из которых соответствует равному количеству корней характеристического уравнения с положительными вещественными частями. На втором этапе определяется область, соответствующая наименьшему количеству корней в правой полуплоскости на комплексной плоскости корней. Эта область называется претендентом на устойчивость. На последнем этапе уточняется, является ли область – претендент в действительности областью устойчивости [11].

Процедура построения областей с равным количеством корней в правой полуплоскости на плоскости корней и дальнейшего определения области устойчивости называется методом *D*-разбиения.

Систему уравнений для построения границ областей с равным количеством корней получают из характеристического уравнения ЭС, которое в обобщенной форме имеет вид:

$$D(\Pi_1, \Pi_2, p) = 0, \quad (2.3.5)$$

где Π_1, Π_2 – настроечные параметры энергосистемы; $p = d/dt$ – оператор (символ) дифференцирования [10].

При подстановке $p = j\omega$, где ω – частота, характеристическое уравнение (2.19) распадается на вещественную и мнимую части, приравнивание которых к нулю дает необходимую систему уравнений

$$\begin{cases} \operatorname{Re} D(P_1, P_2, j\omega) = 0; \\ \operatorname{Im} D(P_1, P_2, j\omega) = 0. \end{cases} \quad (2.3.6)$$

Для построения особых прямых используются уравнения

$$a_0(P_1, P_2) = 0; \quad (2.3.7)$$

$$a_n(P_1, P_2) = 0. \quad (2.3.8)$$

где a_0, a_n – соответственно старший коэффициент и свободный член характеристического уравнения (1.3).

При линейной связи между настроечными параметрами P_1, P_2 система уравнений (2.20) является линейной, и ее решение может быть определено по методу Крамера:

$$P_1 = \frac{\Delta_1(\omega)}{\Delta(\omega)}; \quad P_2 = \frac{\Delta_2(\omega)}{\Delta(\omega)}, \quad (2.3.9)$$

где $\Delta(\omega)$ – главный определитель системы уравнений; $\Delta_1(\omega), \Delta_2(\omega)$ – соответствующие дополнительные определители.

При построении границ D -разбиения в плоскости параметров P_1, P_2 коэффициенты при параметре P_1 располагаются в первом столбце главного определителя, а его численные значения откладываются по оси абсцисс. Частота задается в пределах от ω_{min} до ω_{max} с таким расчетом, чтобы четко выделить области D -разбиения. Каждое значение частоты позволяет получить одну точку на плоскости параметров [3].

Область–претендент на устойчивость определяется с помощью специальной штриховки кривой и особых прямых D -разбиения. Штриховка кривой, полученной по выражениям (2.3.9), осуществляется слева при $\Delta(\omega) > 0$ и справа при $\Delta(\omega) < 0$. В результате получается двойная штриховка. Особые прямые имеют одинарную штриховку. Ее направление согласуется со штриховкой кривой D -разбиения так, чтобы прямая и кривая были обращены друг к другу заштрихованными (или незаштрихованными) сторонами.

Согласование штриховки производится в точках:

$$\omega = \omega_{\max} \text{ для прямой } a_0(\Pi_1, \Pi_2) = 0;$$

$$\omega = \omega_{\min} \text{ для прямой } a_n(\Pi_1, \Pi_2) = 0.$$

В точках $\omega \rightarrow \infty$ и $\omega \rightarrow 0$, где особые прямые пересекаются с кривой, направление штриховки соответствующих прямых изменяется на обратное (рис. 9).

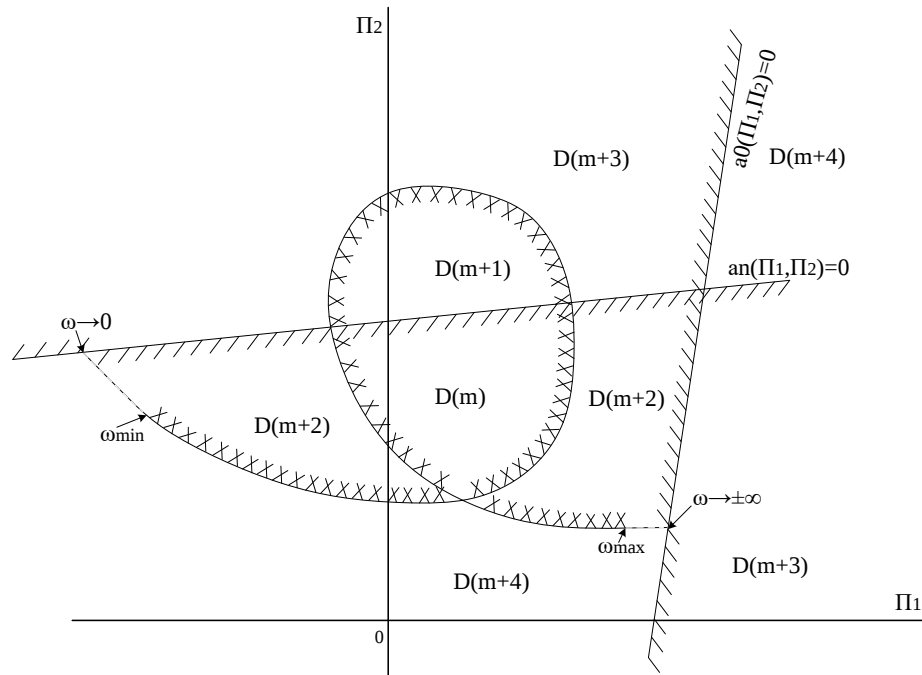


Рисунок 9 – Пример штриховки границ областей D -разбиения [3]

Далее для одной из областей на плоскости параметров Π_1, Π_2 условно принимают, что эта область $D(m)$ соответствует m корням характеристического уравнения, расположенным в правой полуплоскости на плоскости корней. Перемещая изображающую точку из области $D(m)$, последовательно добавляют по одному или по два корня к условно принятому m количеству при переходе границ между областями со стороны одинарной, либо двойной штриховки. Переход через границу с незаштрихованной стороны соответствует уменьшению на такое же количество корней в правой полуплоскости на плоскости корней. В полученном ряде областей $(\dots, D(m+2), D(m+1), D(m), D(m-1), D(m-2), \dots)$ претендентом на устойчивость является последняя (рис. 9). Решение о

том, что область-претендент является областью устойчивости, принимается с помощью проверки по одному из математических критериев для произвольно выбранной точки из этой области [2].

1.3.4. Метод утяжеления

Метод утяжеления заключается в последовательном изменении параметров узлов или ветвей или их групп заданными шагами с последующим расчетом нового установившегося режима на каждом шаге изменения, для которого старший член характеристического уравнения $a_0 > 0$ к предельному по устойчивости. Данный алгоритм выполняется до тех пор, пока обеспечивается возможность расчета. Нарушение апериодической устойчивости при утяжелении режима определяется по смене знака свободного члена характеристического уравнения a_n , который является определителем матрицы системы линеаризованных уравнений переходных процессов. В этом случае констатируется достижение предельного режима на предыдущем шаге расчета, одновременно осуществляется контроль знаний напряжений при проверке сбалансированности режима.

Свободный член характеристического уравнения a_n получают из определителя матрицы системы линеаризованных уравнений переходных процессов в исследуемой системе путем обнуления оператора дифференцирования (принимают $p = 0$). При определенных условиях расчета коэффициент a_n может совпадать с якобианом J . Необходимость выполнения этих условий связана с тем, что условия расчета установившихся режимов в общем случае отличаются от условий, используемых при анализе статической устойчивости.

Поскольку угол вектора напряжения в балансирующем узле фиксирован, этот узел в расчетах режима приобретает свойства шин бесконечной мощности. Изменение выбора балансирующего узла в расчетной схеме может приводить к некоторым изменениям в результатах расчета утяжеления режима. Балансирующий узел не следует помещать в избыточной энергосистеме, так как при этом расчетное значение предела принимаемой мощности завышается.

Помимо обычных способов утяжеления режима, при которых изменяются мощности генераторов или нагрузок в выбранных узлах или задается снижение напряжения, для поиска предельных перетоков активной мощности по линиям связи иногда применяется и «утяжеления по углу». При таком способе утяжеления распределение мощностей между генераторами по каждую сторону нагружаемого сечения изменяется по законам, определяемым структурой и параметрами сети, и обеспечить какое-либо другое распределение мощностей нельзя. В результате утяжеления по углу, если исходный режим далек от предельного, то мощности генераторов в предельном режиме могут оказаться совершенно не соответствующими реальным условиям. Полученный предел будет физически бессмыслен [5].

Утяжеление по углу целесообразно использовать для уточнения расчетных значений предельных мощностей, полученных обычным способом. Мощности генераторов при таком до утяжеления изменяется мало, поэтому указанный выше недостаток утяжеления по углу часто оказывается несущественным.

Полная замена обычного утяжеления на утяжеление по углу оправдана в том случае, если группы генераторов по каждую сторону рассматриваемого сечения связаны между собой короткими линиями с большой пропускной способностью, т.е. образуют две концентрированные энергосистемы, а связь между этими энергосистемами является слабой. Тогда для перехода от исходного режима к предельному потребуется относительно

небольшое изменение мощностей генераторов [6]. Примем метод утяжеления основным для определения статической устойчивости Кузбасской энергосистемы.

В программном комплексе утяжеление реализуется как постепенное приращение в заданном направлении с заданным шагом определенных независимых переменных и дальнейший расчет установившегося режима на каждом из этих шагов. Математическим критерием перехода границы статической устойчивости является изменение знака якобиана, который при одних определенных условиях равен свободному члену характеристического уравнения. В практических же расчетах данный критерий заменяют другим – критерием сходимости итерационного процесса расчета установившегося режима. Если установившийся режим найден, то приращение и расчет установившегося режима повторяется. Если установившийся режим не найден, то полученный установившийся режим считается предельным. Выбор шага осуществляется методом половинного деления.

1.4. Программное обеспечение для анализа устойчивости

1.4.1. Программный комплекс RastrWin для анализа статической устойчивости

Программный комплекс RastrWin широко применяется для моделирования режимов в научных и учебно-исследовательских целях. Параметры системы легко изменяются, что дает возможность изменять режим системы в зависимости от требуемых условий [4].

Основные возможности программного комплекса:

- 1) Расчет нормальных, аварийных, а также предельных установившихся режимов электрических сетей любой сложности, независимо от класса напряжения
- 2) Точный расчет всех параметров режима, таких как мощности, токи, напряжения и др. для каждого узла (ветви) схемы при известных схемных параметрах (сопротивления трансформаторов и линий, проводимости линий, коэффициенты трансформации);
- 3) Расчет установившихся режимов с учетом отклонения частоты (без балансирующего узла);
- 4) Контроль ввода исходных данных на логическую и физическую точность, отображение информации по ошибкам ввода данных в протоколе.
- 5) Автоматическое упрощение (эквивалентирование) схемы;
- 6) Возможность автоматизации и регулированию уровней напряжения, потерям, реактивной мощности;
- 7) Расчет по заданному шагу и количеству уставок положений регуляторов трансформатора под нагрузкой (РПН) и положений вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ);
- 8) Возможность определения предельных режимов по заданной траектории утяжеления, также определяются опасные сечения;
- 9) Структурный анализ потерь мощности – по их характеру, типам оборудования, районам и уровням напряжения;
- 10) Возможность моделирования разнообразных аварийных ситуаций и расчета различных параметров аварийных режимов;
- 11) Возможность моделирование отключения линий электропередач, с любой стороны, как с помощью графики, так и с помощью табличного интерфейса, а также вычисление напряжения на разомкнутом конце;
- 12) Возможность задания генераторов с помощью PQ-диаграммы;

Укрупненный алгоритм исследования статической устойчивости в программе RastrWin следующий:

- 1) Составляется схема замещения ЭС;
- 2) Исходные данные по узлам, ветвям, генераторам заносятся в программу;
- 3) Производится расчет установившегося режима, выявляются опасные сечения;
- 4) Производится утяжеление режима путем отключения линии в опасных сечениях;
- 5) Последовательно увеличивается загрузка контролируемого сечения до момента, когда итерационный процесс перестанет сходиться;
- 6) Рассчитываются предельные мощности и коэффициенты запаса статической устойчивости для нормального и аварийного режимов по формуле:

$$K_3^H = \frac{P_{np}^H - P^H}{P^H} \cdot 100\%$$

Нормативное значение этого коэффициента должно быть не менее 20%;

- 7) Анализируются результаты расчета.

Далее на основе полученных параметров можно режима выполнить перерасчет любым удобным способом [4].

Преимущества использования данного программного комплекса:

- 1) Удобство работы с интерфейсом программы, интуитивно понятное представление информации;
- 2) Возможность импорта и экспорта результатов расчета в файлы Excel
- 3) Возможность расчета режимов с использованием определенных алгоритмов;

4) Широкий опционал для моделирования и расчета траекторий утяжеления.

1.4.2. Программный комплекс Mustang для анализа статической устойчивости

Комплекс Mustang используется для оперативного расчета установившихся и переходных электромеханических режимов энергосистем.

К основным возможностям данного ПК относятся:

- 1) Расчет нормальных и аварийных режимов ЭЭС по заданным схемным параметрам;
- 2) Расчёт электромеханических переходных процессов (ЭПП);
- 3) Анализ динамической и статической устойчивости системы;
- 4) Задание траектории и утяжеление режима.

Все результаты в виде таблиц выводятся на экран, есть возможность сохранения в файл, либо напрямую вывод на печать на принтер. Также, существует возможность представить полученные результаты графически, также с последующим выводом в файл, либо на принтер.

Пользовательский интерфейс программы состоит из следующих основных элементов:

- 1) Табличный процессор;
- 2) Графический анализ – просмотр результатов расчёта в виде графиков;

1.4.3. Программный комплекс ДАКАР для анализа статической устойчивости

Программный комплекс ДАКАР применяется при расчёте и анализе установившихся нормальных, предельных и послеаварийных режимов работы электрических сетей различных классов напряжений, а также электромеханических переходных процессов электроэнергетических систем с учетом действия любых устройств автоматики, реакции теплосилового оборудования электрических станций. Главным преимуществом данного программного комплекса является наличие базы сетевых элементов, таких как трансформаторы, линии электропередач, и.т.д.

В состав информационного обеспечения комплекса входят информационная база данных (ИБД) и программные средства (ПС) работы с ней. Информационная база состоит из данных об электрической схеме сети и ее режимах, а также оборудовании энергосистемы и нормативно-справочная информация.

В комплексе ДАКАР существует возможность сопряжения с другими программами (или пользователями) через импорт/экспорт данных из: старой DOS-версии ДАКАРа, формата ЦДУ (для программ Украины и России), формата USTE DEF (Европа), формата XML. Есть возможность синхронизации с ОИКом (например, через программу КОСМОС).

Комплекс ДАКАР позволяет решать следующие задачи:

- 1) Расчёт и анализ установившихся режимов;
- 2) Эквивалентирование электрической сети;
- 3) Создание графической схемы сети и коммутационных схем подстанций, с отображением на них результатов расчета;
- 4) Исследование статической и динамической устойчивости;

- 5) Анализ длительных переходных процессов;
- 6) Анализ несимметричных, неполнофазных режимов и расчет токов короткого замыкания;
- 7) Настройка АРВ, АЛАР, теплосилового оборудования (ТСО) с использованием графического анализа.

Для выполнения поставленной задачи принимаем программный комплекс RastrWin в виду его удобства и широкого функционала для определения предельного по статической устойчивости режима по различным траекториям утяжеления. Также, преимуществом данного комплекса является то, что разработчики программы постоянно развивают и исправляют ошибки программы, а также могут оказать поддержку в возникающих проблемах.

2. Расчет и анализ нормальных, аварийных и утяжеленных режимов Кузбасской энергосистемы

2.1. Постановка задачи и исходные данные

Расчеты нормального и предельных по статической устойчивости режимов рассматриваются на примере части Кузбасской энергосистемы 500-220-110 кВ. (рис.10.)

В качестве нагрузок взяты перетоки мощностей от узлов подстанций 500, 220 и 110 кВ.

Исходными данными для данной схемы являются замеры активных и реактивных мощностей нагрузочных и генераторных узлов, а также параметры автотрансформаторов и ВЛ сведены в Приложение А – табл. А1-А5

Для проведения расчета нормального по статической устойчивости режима произведем математическое моделирование схемы представленной на рисунке 6 в RastrWin. За балансирующий узел принимается узел питания схемы – Красноярская ЭС, в качестве генерирующего приняты 3 узла – Кемеровская ГРЭС, Кемеровская ТЭЦ и Ново-Кемеровская ТЭЦ.

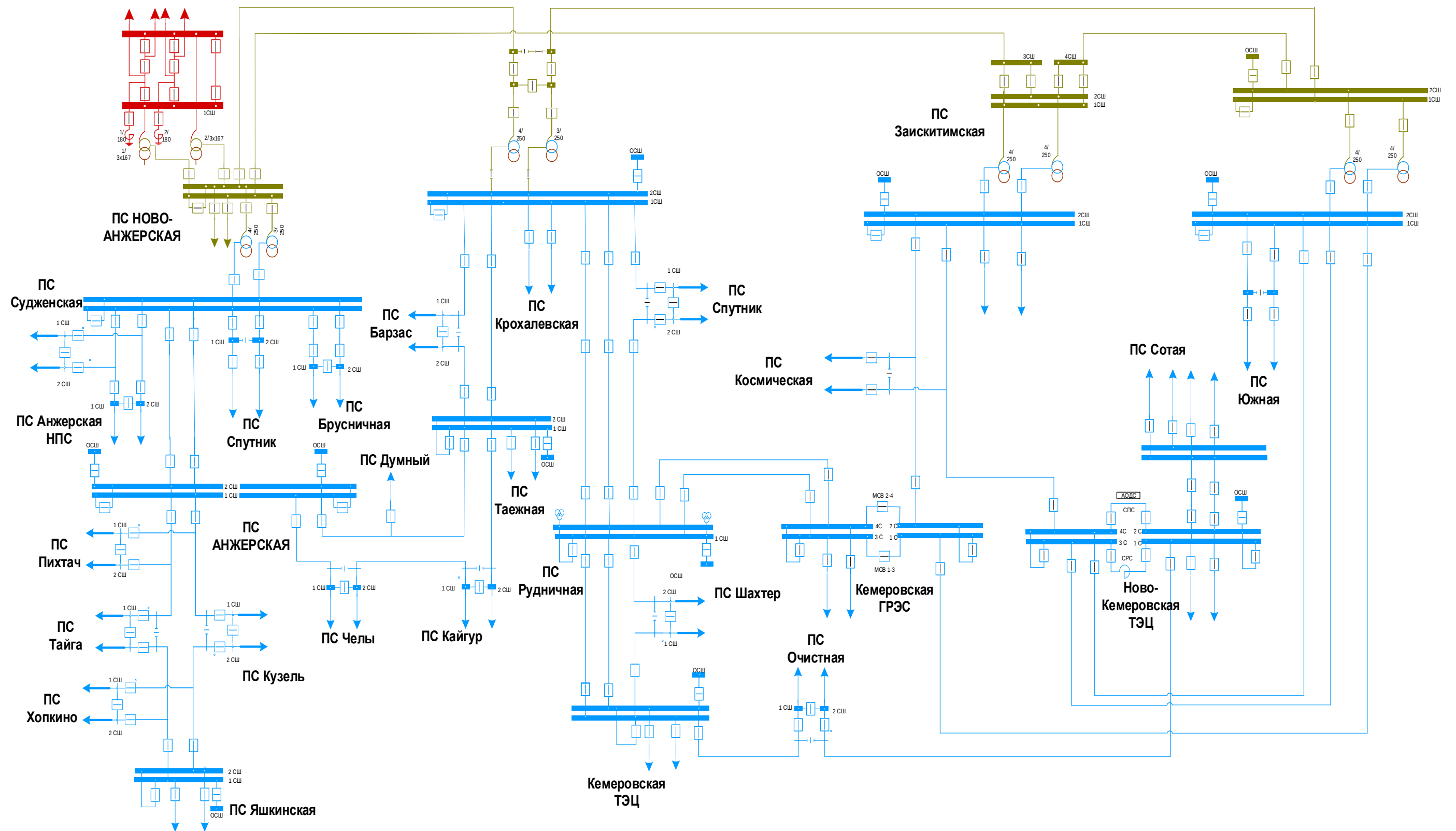


Рисунок 10 – Исследуемая схема Кузбасской энергосистемы

2.2. Расчет нормального по статической устойчивости режима

Вводим исходные данные для узлов. Для них должны быть заданы: название, номер, активная и реактивная мощности нагрузок (и/или генерации), заданное и номинальное напряжения, проводимости (для индуктивных и ёмкостных элементов, подключенных в узле), пределы по реактивной мощности – сведены в Приложение А таблица А7.

Вводим исходные данные для ветвей: номера узлов начала и конца ветви, номер параллельности, сопротивления ветви (активные и реактивные), проводимости ветви и коэффициент трансформации для трансформаторов и автотрансформаторов – сведены в Приложение А, таблица А7.

2.3. Расчет режима максимальных нагрузок

В режиме максимальных нагрузок перетоки мощностей от узлов подстанций 500 и 220 кВ взяты в качестве нагрузок. После введения параметров производим расчет максимального режима энергосистемы.

Результаты расчета режима максимальных нагрузок представлены в таблицах А.1 и А.2 Приложения А.

В результате расчета отклонение напряжения в узлах составило порядка 10%. Допустимое отклонение напряжения на шинах потребителя в большую или меньшую сторону, согласно ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», не более 5% от номинального напряжения. А так же ток в линии не должен превышать допустимых значений [12].

После анализа расчетов, было принято решение о необходимости регулирования напряжения, так как полученные данные превышают допустимые значения. Примем метод регулирования с помощью РПН трансформаторов.

Результаты расчета режима максимальных нагрузок с отрегулированным напряжением представлены в таблицах А.3 и А.4 Приложения А.

2.4. Расчет режима минимальных нагрузок

В режиме минимальных нагрузок значения нагрузки принимаются равными 50% от максимальных.

После введения параметров производим расчет минимального режима энергосистемы. В результате расчета отклонение напряжения в узлах также составило порядка 7 %, что превышает допустимый предел. Требуется

регулирование напряжения путем изменения коэффициентов трансформации с помощью уставок РПН.

Результаты расчета режима минимальных нагрузок представлены в таблицах Б.5, Б.6 и Б.7 Приложения Б.

2.5. Расчет послеаварийного режима

Послеаварийный режим – это режим, наступающий после аварийного отключения какого-либо элемента или ряда элементов системы. Послеаварийные режимы представляют собой режимы, в которых некоторые линии или трансформаторы были отключены в результате аварии или вывода в ремонт.

Сымитируем короткое замыкание цепей линий, а также отключение трансформаторов.

2.5.1. Отключение цепи линии 220 кВ Кемеровская-Крохалевская

Для создания послеаварийной ситуации отключили одну из наиболее нагруженных линий электропередач напряжением 220 кВ в энергосистеме. Данная ЛЭП соединяет подстанции Кемеровская-Крохалевская. При отключении этой линии произошло незначительное падение напряжения. Результаты по узлам и ветвям сведем в таблицы Б.1 и Б.2 Приложения Б. Результаты с отрегулированными напряжениями также сведены в таблицу Б3 и Б4 Приложения Б.

2.5.2. Отключение линии 110 кВ ПС Анжерская – Таежная

Произведем отключение данной линии. В результате аварийной ситуации происходит недопустимое снижение напряжения во многих узлах энергосистемы. Расчетные данные режима приведены в таблице Б.4 Приложения Б.

Ввод в допустимую область напряжения осуществим с помощью изменения мощностей реакторов, установленных на подстанциях Анжерская и Таежная, а так же с помощью устройств РПН трансформаторов. Результаты представлены в таблице Б.5 Приложения Б.

2.5.3. Отключение автотрансформатора АТ1 на ПС Ново-Анжерская-220

Для создания послеаварийной ситуации отключили один из автотрансформаторов ПС Ново-Анжерская (номинальной мощности 250 МВА). При отключении трансформатора не произошло недопустимого отклонения напряжения. Величина отклонения напряжения составила около 6 %, что допустимо для послеаварийных режимов. Делаем вывод, что в регулировании по напряжению нет необходимости. Результаты расчета представлены в таблице Б.6 Приложения Б.

2.6. Расчет утяжеленного режима

Предельный по статической устойчивости переток вычисляется методом утяжеления режима. При этом рассматривается ряд траекторий утяжеления режима, при которых рассматривается ряд установившихся

режимов до тех пор, пока режим будет входить в область статической устойчивости.

Как правило, рассматриваются несколько траекторий утяжеления, характерных для рассматриваемой энергосистемы, различающихся по перераспределению мощности между узлами, находящимися по разные стороны рассматриваемого сечения. Предельную мощность ($P_{пр}$) определяют по той траектории траектории, которая соответствует наименьшей предельной мощности.

2.6.1. Траектория утяжеления «Кемеровская – Крохалевская»

Рассмотрим увеличение перетока для траектории утяжеления «Кемеровская – Крохалевская».

Для утяжеления нормального и послеаварийного режимов работы Кузбасской энергосистемы в качестве узла воздействия выбираем нагрузочный узел ПС Кемеровская, изменяем его активную нагрузку с шагом 50 МВт.

В качестве контролируемых параметров выступает поток активной мощности в ЛЭП 220 кВ «Кемеровская – Крохалевская», представляющей собой сечение рассматриваемого участка энергосистемы, и напряжения на шинах 220 кВ ПС Кемеровская (узел 34) и ПС Крохалевская (узел 20).

Ввод контролируемых параметров в RastrWin осуществляется при помощи команды «Контролируемые параметры → Описание → Добавить в КВ». Для узлов схемы можно контролировать активную и реактивную мощности, напряжение, фазовый сдвиг. Для ветвей схемы можно контролировать активную и реактивную мощности, токи, потери мощности.

Произведем расчет утяжеления для нормального режима при помощи команд «Расчет → Утяжеление → Начать». Так как энергосистема в целом и

рассматриваемая линия в частности характеризуются небольшой протяженностью ВЛ, то результат расчета в программе показывает, что мощность нагрузки может достигать значений до 758 МВт без нарушения режима. Данные по расчету контролируемых параметров представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Контролируемые параметры в режиме утяжеления для нормального режима

Номер расчета	Рл	U ₃₄	U ₂₀
	Ветвь 34 - 20	Узел 34	Узел 20
0	17,5	217,68	219,62
1	18,3	217,31	219,36
2	19,1	216,88	219,05
3	20,1	216,32	218,63
4	21	215,66	218,13
5	22	214,93	217,56
6	22,9	214,11	216,91
7	23,7	213,2	216,9
8	26,7	212,19	215,37
9	32,4	211,07	214,44
10	38,2	209,81	213,4
11	43,9	208,4	212,21
12	55,5	204,87	209,2
13	61,3	202,68	207,31
14	68,5	199,2	204,45
15	72,9	196,58	201,93

Аналогичным образом рассчитаем утяжеление для послеаварийного режима. Результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Контролируемые параметры в режиме утяжеления для
послеаварийного режима

Номер расчета	Рл	U ₃₄	U ₂₀
	Ветвь 34 - 20	Узел 34	Узел 20
0	18,9	217,48	219,37
1	25,1	217,1	218,99
2	37,1	216,67	218,52
3	54,9	216,08	217,86
4	66,8	215,39	217,03
5	84,4	214,43	215,8
6	96	213,73	214,88

Значения предельных по статической устойчивости перетоков активной мощности для ВЛЭП 220 кВ «ПС Кемеровская – ПС Крохалевская» для нормального и послеаварийного режимов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения перетоков активной мощности ВЛЭП «ПС
Кемеровская – ПС Крохалевская», МВт

Режим	Нормальный	Послеаварийный
Без утяжеления	17,5	12,4
С утяжелением	72,9	168,1

Значения критических по статической устойчивости напряжений узлов Кемеровская (узел 34) и Крохалевская (узел 20) представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения напряжений на шинах 220 кВ ПС Кемеровская – ПС Крохалевская, кВ

Режим	Нормальный		Послеаварийный	
	Узел 34	Узел 20	Узел 34	Узел 20
Без утяжеления	217,68	219,62	218,1	219,73
С утяжелением	196,58	201,93	206,4	199,74

Расчёт коэффициента запаса статической устойчивости по активной мощности для нормального режима (в соответствии с формулой 1.3 – 1.4):

$$K_{P1} = \frac{P_{\text{пр}} - (P + \Delta P_{\text{нк}})}{P_{\text{пр}}} \cdot 100\% = \frac{72,9 - (17,5 + 0)}{72,9} \cdot 100\% = 75,9\%,$$

где:

$$\Delta P_{\text{нк}} = K \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{н1}} \cdot P_{\text{н2}}}{P_{\text{н1}} + P_{\text{н2}}}} = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{18,6 \cdot 0}{18,6 + 0}} = 0 (\text{МВт}).$$

Расчёта коэффициента запаса статической устойчивости по активной мощности для послеаварийного режима:

$$K_{P2} = \frac{P_{\text{пр}} - (P + \Delta P_{\text{нк}})}{P_{\text{пр}}} \cdot 100\% = \frac{84,4 - (17 + 0)}{84,4} \cdot 100\% = 69\%,$$

Предельный по статической апериодической устойчивости режим – это режим, после которого итерационный процесс расходится. Таким образом, для первого установившегося режима (нормальный) этот предел наступает при передаваемой активной мощности 758 МВт, для второго (послеаварийный) – 585 МВт. Коэффициенты запаса статической устойчивости, как для нормального, так и для аварийного режимов удовлетворяют условию по минимально допустимым значениям коэффициента запаса (20%). При отключении линии «ПС Кемеровская - ПС Крохалевская» запас статической устойчивости уменьшится с 75,9% до 69%.

2.6.2. Траектория утяжеления «Анжерская – Таёжная»

Рассмотрим увеличение перетока для траектории утяжеления «Анжерская – Таёжная».

Для утяжеления нормального и послеаварийного режимов работы Кузбасской энергосистемы в качестве узла воздействия выбираем нагрузочный узел ПС Таёжная, изменяем его активную нагрузку с шагом 50 МВт.

В качестве контролируемых параметров выступает поток активной мощности в ЛЭП 110 кВ «Анжерская – Таёжная», представляющей собой сечение рассматриваемого участка энергосистемы, и напряжения на шинах 110 кВ ПС Анжерская (узел 8) и ПС – Таёжная (узел 17). Данные по расчету контролируемых параметров представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Контролируемые параметры в режиме утяжеления для нормального режима

Номер расчета	Рл	U ₈	U ₁₇
	Ветвь 8 - 17	Узел 8	Узел 17
0	33,4	112,9	110,03
1	49,6	112,2	109,86
2	66,1	111,79	108,55
3	81,4	111,2	107,10
4	98,3	110,8	105,47
5	116,8	110	103,64
6	134,2	108,56	99,2
7	151,9	107,15	96,38
8	169,9	105,49	93,09

Аналогичным образом рассчитаем утяжеление для послеаварийного режима. Результаты сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Контролируемые параметры в режиме утяжеления для
послеаварийного режима

Номер расчета	Рл	U ₈	U ₁₇
	Ветвь 8 - 17	Узел 8	Узел 17
0	28,5	112,8	110,48
1	43,1	112,49	109,86
2	64,9	111,59	108,55
3	83,5	110,43	105,44
4	102,5	109,64	104,11
5	121,8	108,44	101,56

Значения предельных по статической устойчивости перетоков активной мощности для ВЛЭП 110 кВ «ПС Анжерская – ПС Таёжная» для нормального и послеаварийного режимов представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Значения перетоков активной мощности ВЛЭП « ПС Анжерская – ПС Таёжная», МВт

Режим	Нормальный	Послеаварийный
Без утяжеления	33,4	28,5
С утяжелением	169,9	121,8

Значения критических по статической устойчивости напряжений узлов Анжерская (узел 8) и ПС – Таёжная (узел 17) представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Значения напряжений на шинах 110 кВ ПС Анжерская – ПС Таёжная, кВ

Режим	Нормальный		Послеаварийный	
	Узел 8	Узел 17	Узел 8	Узел 17
Без утяжеления	112,9	110,03	112,8	110,48
С утяжелением	105,49	93,09	108,44	101,56

Расчёт коэффициента запаса статической устойчивости по активной мощности для нормального режима (в соответствии с формулой 1.3 – 1.4):

$$K_{P1} = \frac{P_{\text{ПР}} - (P + \Delta P_{\text{НК}})}{P_{\text{ПР}}} \cdot 100\% = \frac{188,4 - (33,4 + 0)}{188,4} \cdot 100\% = 82,2\%,$$

где:

$$\Delta P_{\text{НК}} = K \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{Н1}} \cdot P_{\text{Н2}}}{P_{\text{Н1}} + P_{\text{Н2}}}} = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{4,4 \cdot 0}{4,4 + 0}} = 0 (\text{МВт}).$$

Расчёта коэффициента запаса статической устойчивости по активной мощности для послеаварийного режима:

$$K_{P2} = \frac{P_{\text{ПР}} - (P + \Delta P_{\text{НК}})}{P_{\text{ПР}}} \cdot 100\% = \frac{121,8 - (28,5 + 0)}{121,8} \cdot 100\% = 76,6\%,$$

Таким образом, для траектории 110 кВ ПС Анжерская - ПС Таёжная в нормальном режиме коэффициент статической устойчивости равен 82,2 %, а в аварийном режиме снижается до значения 76,6 %. Предельный режим наступает при значении мощности нагрузки 404,4 и 254,4 МВт для нормального и аварийного режима соответственно

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

НТИ посвящено расчету и анализу режимов Кузбасской распределительной сети по условиям статической устойчивости.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности исследования, оценка научного уровня и эффективности НТИ, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать технико-экономический потенциал исследования и его перспективность,
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет НТИ;
- определить научный уровень исследования.

3.1 Технико-экономическое обоснование исследования

Актуальность данного научно-технического исследования состоит в том, что точная информация по значениям коэффициентов статической устойчивости в различных узлах электроэнергетической системы позволяют эффективнее управлять режимами данной сети, а также планировать дальнейшее развитие системы – возможность подключения новых потребителей, строительство новых станций и подстанций и т.д.

Заказчиком данного исследования может являться Системный оператор единой энергетической системы, а именно Региональное диспетчерское управление энергосистемы Кузбасса» (Кузбасское РДУ).

Исследование проводится на базе лабораторий Томского Политехнического Университета, не требует больших капиталовложений, так как всё имеющееся оборудование предоставлено лабораторией.

3.2. Организация и планирование научно-исследовательских работ

Для выполнения работы была сформирована рабочая группа, в состав которой входят руководитель и студент. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составляется перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, а также распределение исполнителей по видам работ (табл.8).

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Исполнитель	Продолжительность, %
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, постановка задачи.	Руководитель студент	10
Выбор направления исследований	2	Выбор и изучение материалов по теме	Студент	20
	3	Выбор направления исследований	Студент	
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Исследование установившихся режимов энергосистемы.	Студент	5
	6	Исследование предельных по статической устойчивости режимов энергосистемы.	Студент	10
	7	Моделирование Кузбасской ЭС в программе RastrWin	Студент	10
	8	Расчет нормальных режимов	Студент	10
	9	Расчет предельного по статической устойчивости режима	Студент	15
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка полученных результатов	Руководитель	5
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент	15
				100

Одной из основных целей планирования научно-исследовательской работы является определение общей продолжительности ее проведения. 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:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (1)$$

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

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

t_{maxi} – 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.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{\mathcal{C}_i}, \quad (2)$$

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

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

$\mathcal{C}_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Продолжительность всей работы над анализом режимов Кузбасской распределительной сети составляет 90 дней. Используя приведенные ранее процентные соотношения, рассчитаем продолжительность работ для каждого этапа. Расчеты сведены в таблицу 9. Будем считать, что руководитель лишь контролирует ход работы,

Таблица 9 – Определение трудоемкости работ

№ этап а	Кол-во исполнителей	Кол-во дней	Продолжительность работ			Т, чел/дн
			t _{MIN}	t _{MAX}	t _{ОЖ}	
1	Руководитель Студент	9	8	10	8,8	6
2-4	Руководитель Студент	18	15	20	17	15
5	Руководитель Студент	4,5	3	6	4,2	3
6	Руководитель Студент	9	8	10	8,8	6
7	Руководитель Студент	9	8	10	8,8	6
8	Руководитель Студент	9	8	10	8,8	6
9	Руководитель Студент	13,5	10	15	12	10
10	Руководитель	4,5	3	6	4,2	4
11	Руководитель Студент	13,5	10	15	12	10
ИТОГО:		90	73	102	84,6	66

На основе таблицы 9 построим календарный план график (табл. 10)

Таблица 10 – Календарный план график

№	Исполнители	Ti	Февраль	Март				Март				Март				Апрель			
1	Руководитель	2																	
	Студент	4																	
2-4	Руководитель	5																	
	Студент	10																	
5	Руководитель	1																	
	Студент	2																	
6	Руководитель	2																	
	Студент	4																	
7	Руководитель	2																	
	Студент	4																	
8	Руководитель	2																	
	Студент	4																	
9	Руководитель	4																	
	Студент	6																	
10	Руководитель	4																	
	Студент	6																	
11	Руководитель	4																	
	Студент	6																	

3.2.2. Расчёт затрат на проведение НТИ

Затраты на НТИ подразделяются на текущие и капитальные. В состав текущих затрат входят: заработная плата; командировочные расходы; начисления на заработную плату; затраты на проведение испытаний экспериментальных образцов, на проектирование и конструирование изделий, на разработку технологии, на изготовление и испытания опытных образцов на заводские испытания.

К капитальным затратам на НИР относятся: стоимость лабораторных приборов и оборудования, необходимых для проведения исследований и проектных работ, стоимость сооружений и зданий.

Осуществить определение затрат по запланированным работам возможно в форме сметной калькуляции, для расчёта которой должны быть использованы действующие рыночные цены.

Затраты на любой вид деятельности рассчитываются по следующим элементам расходов с последующим суммированием:

1. Материальные затраты (за вычетом стоимости возвратных отходов).
2. Затраты на оплату труда.
3. Отчисления в социальные фонды (страховые взносы).
4. Амортизация основных фондов и нематериальных активов.
5. Прочие затраты.

3.2.2.1. Расчет материальных затрат НТИ

К материальным затратам относятся приобретаемое со стороны сырье и материалы, запасные части для ремонта оборудования, приборов, а также износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов.

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх}i} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ТД „Карандаш”.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносим в таблицу 11.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (З _м), руб.
Бумага	Пачка	1	188	188
Картридж для принтера	Шт	1	1699	1699
Канцелярские принадлежности (бумага, маркеры, шариковые ручки, карандаши)	Шт	9	16	144
Итого				2031

3.2.2.2. Тарифный фонд заработной платы по месяцу оклад работника

$$ЗП_T = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

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

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томск).

Государственная академическая стипендия студента ТПУ составляет 2344 руб., примем данную сумму в качестве тарифной ставки для студента, тогда:

$$ЗП_T = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 2344 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 4571 \text{ (руб.)}$$

Большая часть работ приходилась на март, в котором с учетом выходных и праздничных дней по 6-ти дневной рабочей неделе 26 рабочих дней, тогда средняя зарплата студента за один день:

$$ЗП_{\text{день}} = \frac{ЗП_T}{26} = \frac{4571}{26} = 176 \text{ (руб.)}$$

Для руководителя тарифная ставка в среднем по городу Томску составляет 14584 руб, тогда:

$$ЗП_T = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_p = 14584 \cdot (1 + 0,3 + 0,5) \cdot 1,3 = 34127 \text{ (руб.)}$$

Средняя зарплата руководителя за один день:

$$ЗП_{\text{день}} = \frac{ЗП_T}{26} = \frac{34127}{26} = 1313 \text{ (руб.)}$$

По линейному графику определяем, что студент потратит на выполнение работы 40 рабочих дней, тогда основная заработная плата студента составит:

$$ЗП_{\text{осн}} = ЗП_{\text{день}} \cdot 40 = 176 \cdot 40 = 7040 \text{ руб.}$$

Руководитель согласно линейному графику проработает 26 рабочих дней, тогда основная заработная плата руководителя составит:

$$ЗП_{\text{осн}} = ЗП_{\text{день}} \cdot 40 = 1313 \cdot 26 = 34138 \text{ руб.}$$

3.2.2.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,08 – 0,16).

Дополнительная заработная плата для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 34138 = 4096 \text{ (руб.)}$$

Дополнительная заработная плата для студента:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 7040 = 844,8 \text{ (руб.)}$$

Таким образом, затраты на оплату труда составляют:

$$ЗП_{\text{полн}} = ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}} = 4096 + 34138 + 7040 + 845 = 46120 \text{ руб.}$$

3.2.2.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка– 27,1%.

$$З_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (34138 + 4096 + 7040 + 844,8) = 12498 \text{ (руб.)}$$

3.2.2.5. Накладные расходы

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

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

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

$$З_{\text{накл}} = 46120 \cdot 0,16 = 7380 (\text{руб.})$$

3.2.2.6. Амортизационные затраты

Амортизация рассчитана по формуле

$$H_a = \frac{1}{T_a} \frac{T_{\text{раб}}}{365} K_{\text{ком.}}$$

где H_a - величина амортизации, руб.

T_a - время амортизации, год. (для компьютерной техники равно 5 лет.)

$T_{\text{раб}}$ - продолжительность всех работ, день.

$K_{\text{ком}}$ - стоимость всех видов компьютерной техники $K_{\text{ком}} = 105000$ рублей.

$$\text{Тогда } H_a = \frac{1}{T_a} \frac{T_{\text{раб}}}{365} K_{\text{ком.}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{66}{365} \cdot 105000 = 3797 \text{ рублей}$$

3.3. Формирование сметы технического проекта

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 бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	2031	3,7
2. Затраты на оплату труда	46120	65,6
3. Отчисления в социальные фонды	12498	17,8
4. Амортизация	3797	2,4
5. Накладные расходы	7380	10,5
6. Итого	71825	100

Расчет прибыли: При расчете прибыли учитывается, коэффициент научного уровня. Тогда прибыль составит:

$$\Pi = C \cdot K_{\text{ну}} = 71825 \cdot 0,21 = 15083 \text{ рублей.}$$

Цена проекта: Определяется как сумма себестоимости и прибыли.

$$Ц = C + \Pi = 71825 + 15083 = 86908 \text{ рублей.}$$

3.4. Оценка научного уровня

Количественная оценка научного или научно-технического уровня производится путем расчета результативности участников разработки по формуле:

$$K_{\text{ну}} = \sum_{i=1}^n (K_{\text{дуй}} \cdot d_i),$$

где $K_{\text{ну}}$ – коэффициент научного или научно-технического уровня; $K_{\text{дуй}}$ – коэффициент достигнутого уровня i -го фактора; d_i – значимость i -го фактора; n – количество факторов.

Каждому фактору экспертным путем устанавливается числовое значение коэффициента значимости d_i , коэффициент достигнутого уровня также устанавливается экспертным путем.

Оценка новизны результатов: в ходе данной работы был обобщен имеющийся опыт – примем коэффициент достигнутого уровня $K_{дyi} = 0,3$;

Оценка перспективности использования результатов: полученные данные возможно использовать для дальнейшего магистерского исследования, а так же как модель для использования в учебной работе. Коэффициент достигнутого уровня примем равным 0,2;

Завершенность полученных результатов: в результате был написан отчет по теме исследования. $K_{дyi} = 0,2$.

Масштаб возможной реализации результатов: полученные результаты могут быть применены к Кузбасской энергосистеме $K_{дyi} = 0,2$

Таблица 13 – Оценка научного уровня разработки

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение i -го фактора
	d_i	$K_{дyi}$	$K_{дyi} \cdot d_i$
1. Новизна полученных или предполагаемых результатов	0,3	0,3	0,09
2. Перспективность использования результатов	0,3	0,2	0,06
3 Масштаб возможной реализации результатов.	0,2	0,2	0,04
4. Завершенность полученных результатов	0,2	0,2	0,04
Результативность	$K_{ny} = \sum(K_{дyi} \cdot d_i) = 0,21$		

Таким образом, была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 40 рабочих дней для студента и 26 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 71825 рублей, из

которых более половины (65,6 %) составляют затраты на оплату труда. Ожидаемая прибыль 15083 рублей. Цена проекта составила 86908 рублей.

4. Социальная ответственность

Социальная ответственность в общем случае определяется следующими факторами:

1. производство продукции и оказание услуг надлежащего качества;
2. удовлетворение интересов потребителей; в
3. соблюдение прав персонала на труд; в
4. выполнение требований к безопасности и гигиене труда, ресурсосбережению, охране окружающей среды и промышленной безопасности;
5. участие в социальных мероприятиях и поддержке инициатив местного сообщества.

В данном разделе планируется провести анализ факторов производственной среды и принятие решений для улучшения условий труда. Для чего будут проанализированы вредные и опасные факторы производства: поражение электрическим током, повышенные уровни шума и электромагнитного излучения, влияние вибрации. Будут представлены правовые и организационные вопросы по обеспечению безопасности. А так же вопросы по предотвращению ЧС на предприятии, по воздействию объекта и охране окружающей среды.

Вредный производственный фактор — производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию (неблагоприятный микроклимат, повышенный уровень шума, вибрации, плохое освещение, неблагоприятный аэроионный состав воздуха) [15].

Рассмотрим факторы производственной среды, воздействующие на работника оперативной службы подстанции.

Оперативным персоналом в дневное время выполняются функции контроля и обеспечения требуемого режима работы оборудования ПС и ЛЭП в полном объеме. Далее, приведены вредные и опасные факторы, которым подвергается работник оперативной службы подстанции.

4.1. Производственная безопасность

4.1.1. Анализ вредных и опасных факторов

Влияние вредных производственных факторов приводит к снижению трудоспособности, вызванные переутомлением, что приводит к развитию профессиональных заболеваний. Также работника оперативной службы подстанции. подвергается воздействию опасных факторов, воздействие которых на персонал приводят к травме. Ниже в таблице 13. приведен перечень опасных и вредных производственных факторов.

Таблица 13. – 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	
Перечень работ : 1) Осмотр щита управления, аккумуляторной батареи, всего оборудования ПС; 2) Слежение по измерительным приборам за состоянием и режимом работы оборудования 3) Осуществление допуска	1) Повышенный уровень шума 2) Вибрации 3) Отклонение показателей микроклимата в помещении 4) Недостаточная освещенность	1) Поражение электрическим током 2) Пожар	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 5) Правила по охране труда при эксплуатации

ремонтного персонала, прием работ 4) Проверка работоспособности сигнализации, связи, освещения	рабочей зоны 5) ЭМИ		электроустановок
---	------------------------	--	------------------

4.1.1.1. Микроклимат

Микроклимата рабочего места в значительной степени влияет на состояние здоровья человека и его работоспособность

Микроклимат производственных помещений — метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими совместно на организм человека температурой, относительной скоростью движения воздуха и влажностью, интенсивностью теплового излучения [13].

Факторы, которые влияют на микроклимат, разделяют на две группы: нерегулируемые (комплекс климатообразующих факторов данной местности) и регулируемые (качество и особенности строительства сооружений и зданий, кратность воздухообмена, количество людей и животных в помещении и другие). В поддержании параметров воздушной среды рабочей зоны в пределах гигиенических норм решающее значение имеют факторы второй группы [14].

Оптимальные значения параметров микроклимата установлены в СНиП 2.2.4.548 - 96. При длительном пребывании в оптимальных условиях сохраняется нормальное тепловое и функциональное состояние организма без напряжения механизмов терморегуляции. В этом случае человек ощущает тепловой комфорт, обеспечивается достаточно высокий уровень работоспособности. Такие условия являются предпочтительными на рабочем месте.

При длительном и систематическом воздействии на человека допустимые условия могут приводить к преходящим и быстро нормализующимся изменениям функционального и теплового состояний организма, к напряжениям механизмов терморегуляции, входящих в пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не происходит нарушения состояния здоровья, но не исключены дискомфортные теплоощущения, снижение работоспособности или ухудшение самочувствия [14].

Параметры микроклимата в производственных помещениях зависят от степени тяжести выполняемых работ, а так же периода года (теплого или холодного). Теплым принято считать период со среднесуточной температурой наружного воздуха выше 10°C , холодным — с температурой 10°C и ниже.

Значительно влияет на терморегуляцию организма человека влажность воздуха. При высокой температуре, высокая относительная влажность способствует перегреванию организма. Повышенная же влажность воздуха при низкой температуре усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, тем самым способствуя переохлаждению организма. Согласно нормам температура воздуха на постоянных рабочих местах должна быть в пределах $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$, влажность не более 60 %. Для поддержания нужной температуры воздуха в помещении на подстанциях используют общеобменную и местную вентиляции (летом) или электрическое отопление (зимой) [19].

На подстанциях возможны работы по обслуживанию ОРУ в холодное время года. Важным условием в этом случае является организация перерывов в работе с нахождением человека в теплых помещениях. При производстве наружных работ необходимо устраивать перерывы для согревания при $t_{\text{возд}} = -(10\text{--}15)^{\circ}\text{C}$ с ветром от 2 м/с до 5 м/с, при $t_{\text{возд}} = -(15\text{--}20)^{\circ}\text{C}$ с ветром от 2 м/с и при $t_{\text{возд}} = -20^{\circ}\text{C}$ с относительным штилем [13].

На рабочем месте дежурного персонала не находится никакого оборудования, работа которого сопровождается выделением тепла или

повышает влажность воздуха, т.е. должны быть соблюдены оптимальные условия (табл. 12).

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м^2 при облучении 50% поверхности тела и более, 70 Вт/м^2 - при величине облучаемой поверхности от 25 до 50% и 100 Вт/м^2 - при облучении не более 25% поверхности тела.

Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, стекло, "открытое" пламя и др.) не должна превышать 140 Вт/м^2 , при этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

При наличии теплового облучения температура воздуха на постоянных рабочих местах не должна превышать указанные в табл. 14 верхние границы оптимальных значений для теплого периода года, на непостоянных рабочих местах - верхние границы допустимых значений для постоянных рабочих мест. [13]

Таблица 14 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха

Период года	Категория работ по уровням	Температура, С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, не более м/с	
		Оптим-ая	Допус-ая	Оптим-ая	Допус-ая	Оптим-ая	Допус-ая
Холодный	Iб	21-23	17-25	40-60	75	0,1	0,2
Теплый	Iб	22-24	19-30	40-60	60	0,2	0,3

Вентиляция производственных помещений должна решать две главные задачи: удалять отработанный воздух и осуществлять приток свежего воздуха. Первая задача важна, так как в отработанном воздухе могут находиться вредные вещества в виде газов, тяжелых примесей, а также избыток тепла. Вторая задача определяется СНиП, чтобы не совершать нарушений технологического процесса на производстве.

4.1.1.2. Электромагнитное излучение

Трансформаторные и преобразовательные станции являются высоковольтным электроэнергетическим оборудованием.

Защита от создаваемого оборудованием подстанции электромагнитного поля, как правило, осуществляется посредством экранирования рабочих помещений. Оценка полей пром. частоты и соответствия их допустимым нормам для работы в нем по СанПиН 2.2.4.1191-03 и ГОСТ 12.1.002-84 производится при определении норм инструментальным путем. При проектировании для этого делаются компьютерные расчеты полей, которые сопоставляются с допустимыми уровнями.

Пребывание в электрическом поле промышленной частоты, которое, как правило, создается вокруг трансформаторных подстанций, ограничивается: при напряженности 10 кВ/м - 180 минут в сутки, 20 кВ/м - 10 минут в сутки. Трансформаторная подстанция должна находиться не ближе, чем на расстоянии 10 м от здания.

Требования к электромагнитным полям для трансформаторных подстанций приведены в табл.15.

Таблица 15 – 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.

4.1.1.3. Повышенный уровень шума

Шум - это беспорядочное сочетание звуков различной интенсивности (силы) и частоты, возникающих при механических колебаниях в жидких, газообразных и твердых средах.

Сильный производственный шум оказывает отрицательное влияние на организм человека, главным образом, на его центральную нервную систему и сердечно-сосудистую систему. Шум снижает работоспособность человека, производительность труда, ухудшает зрение, вызывает головные боли, депрессии, усталость, увеличивает вероятность нервных и инфарктов.

Основными источниками шума на подстанциях являются работающие трансформаторы.

Согласно СН 2.2.4/1.8.562 - 96, уровень шума на месте дежурного не должен превышать 65 дБА, что соответствует рабочему месту оперативного персонала на подстанции.

К методам защиты от шума на подстанции можно отнести: рациональную планировку производственных помещений; применение средств звукоизоляции, звукопоглощения, глушителей шума (например, звукоизолирующие кабинки, акустические экраны) [17].

4.1.1.4. Вибрация

В соответствии с ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» под вибрацией понимают движение точки или

механической системы, при котором происходит поочерёдное возрастание и убывание во времени значений, по крайней мере, одной координаты [20].

По характеру воздействия различают локальную и общую вибрацию. Общая вибрация приводит к сотрясению всего организма. Локальная вибрация приведет к сотрясению только отдельных частей тела, например кистей рук, при работе с ручным механизированным инструментом [18].

В ходе изучения действия вибрации на организм человека необходимо учитывать, что колебательные процессы постоянно протекают в живом организме. Тело человека, можно рассматривать как вязкоупругую механическую систему, которая обладает своими собственными частотами, имеющими достаточно выраженные резонансные свойства.

Резонансные частоты тела человека: глаза 12 – 27 Гц, грудная клетка 2 – 12 Гц, ноги и руки 2 – 8 Гц, голова 8 – 27 Гц, позвоночник 4 – 14 Гц.

При высоких уровнях вибрации в диапазоне 4 – 10 Гц, человек может быть подвержен болевым ощущениям и испытывать дискомфорт ввиду резонансных колебаний системы «грудь-живот». Резонансы головы приводят к снижению остроты зрения по причине смещения изображения объекта относительно сетчатки глаза, а также увеличивают количество ошибок оператора [18].

Вибрации с частотой, совпадающей с собственной частотой внутренних органов человеческого организма – 6 – 9 Гц, являются особо опасными, так как приводят к механическим повреждениям или могут привести к разрыву органов.

Систематическое воздействие общей вибрации с высоким уровнем виброскорости становится причиной заболевания, такого как вибрационная болезнь (виброблезнь). Она проявляется в головных болях, головокружение, нарушение сна, плохом самочувствие, пониженной работоспособности. Виброблезнь лечится на ранних стадиях и происходит процесс выздоровления

медленно. К инвалидности приводит появление необратимых изменений в организме [18].

К способам борьбы с вибрацией можно отнести: снижение вибрации в источнике (улучшение конструкции машин, статическую и динамическую балансировку вращающихся частей машин), виброгашение (увеличение эффективной массы с помощью присоединения машины к фундаменту), виброизоляцию (применение виброизоляторов пружинных, гидравлических, пневматических, резиновых и др.) вибродемпфирование (применение материалов с большим внутренним трением), применение индивидуальных средств защиты (виброзащитной обуви, перчаток со специальными упруго-демпфирующими элементами, поглощающими вибрацию).

4.1.1.5. Освещение

Работа дежурного персонала в основном связана с информацией, которую он получает с приборов на щите управления.

Недостаточное освещение рабочего места вызывает повышенное утомление, затрудняет длительную работу и способствует развитию близорукости. Слишком низкий уровень освещенности вызывает апатию и сонливость, а в некоторых случаях способствует развитию чувства тревоги. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождается снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его реактивности. К таким же последствиям приводит длительное пребывание в световой среде с ограниченным спектральным составом света и монотонным режимом освещения.

Излишне яркий свет слепит, снижает зрительные функции, приводит к перевозбуждению нервной системы, уменьшает работоспособность, нарушает

механизм сумеречного зрения. Воздействие чрезмерной яркости может вызвать фотоожоги глаз и кожи, кератиты и катаракты другие нарушения тканей.

Рабочее место дежурного персонала на подстанции освещается как естественным светом, так и искусственным освещением, то есть используется совместное освещение.

Согласно СНиП 23.05 - 95, существуют следующие нормы освещенности: для пультов и столов, дежурных наименьшая освещенность при лампах накаливания комбинированным освещением - 400 лк, а одним общим - 150 лк, причем аварийное освещение составляет 30 лк. Это соответствует рабочему месту оперативного персонала

4.1.2. Меры по снижению и устранению опасных факторов

4.1.2.1. Электрический ток

Для такого объекта как энергосистема, неотъемлемым является электрический ток, который представляет значительную опасность для здоровья человека при непосредственном контакте его с токопроводящей поверхностью.

Вредное влияние электрического тока зависит от частоты и рода тока, пути прохождения, времени воздействия, состояния кожных покровов, от класса напряжения, режима работы нейтрали сети.

Виды воздействий электрического тока на организм человека:

- 1) термическое воздействие тока (ожог, нагрев кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов);
- 2) электролитическое действие тока (разложение крови);

3) механическое действие тока (значительное давление в кровеносных сосудах и мышечных тканях);

4) биологическое действие тока (раздражение живых тканей, вызывающее возбуждение, при этом могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервных тканей, а также ушибы и вывихи).

5) электрический удар. Во время электрического удара происходит возбуждение живых тканей организма током, который проходит через него, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц.

По ТБ электрический ток классифицируется следующим образом:

- безопасный – ток, не превышающий 50 мкА при переменном токе (50 Гц) и 100 мкА при постоянном токе;
- минимально ощутимый человеком постоянный ток составляет 5—7 мА, а переменный ток около 0,6—1,5 мА;
- пороговый неотпускающий - минимальный ток силы, при которой человек неспособен оторвать руки от токоведущей части усилием воли. Для переменного тока это около 10—15 мА, для постоянного — 50—80 мА;
- фибрилляционный порог определяется как сила переменного тока около 100 мА и постоянного 300 мА, воздействие которого дольше 0,5 с с большой вероятностью вызовет фибрилляцию сердечных мышц. Этот порог считается условно смертельным для человека [21].

Для защиты людей при работе на ПС или ВЛ, когда возможно поражение электрическим током должна быть применены технические и организационные меры, которые регламентированы ПУЭ.

Основные способы и средства электрозащиты:

- 6) изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- 7) установка оградительных устройств;
- 8) предупредительная сигнализация и блокировки;
- 9) использование предупреждающих плакатов и знаков безопасности;

- 10) использование малых напряжений;
- 11) электрическое разделение сетей;
- 12) защитное заземление - преднамеренное электрическое соединение данной точки системы или установки, или оборудования с локальной землей посредством заземляющего устройства.
- 13) выравнивание потенциалов;
- 14) зануление;
- 15) защитное отключение;
- 16) средства индивидуальной электрозащиты.

Средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током подразделяют на основные и дополнительные. Основным средствам защиты являются: при напряжении сети более 1000 В — изолирующие измерительные клещи и штанги, изолирующие устройства, указатели напряжения, оборудование и приспособления в виде лестниц, захватов, площадок; при напряжении сети до 1000 В — инструменты с изолирующими ручками, указатели напряжения, диэлектрические перчатки, изолирующие клещи кронштейн-площадки, трапы [11].

К дополнительным средствами защиты относятся изолирующие подставки, диэлектрические сапоги и галоши, диэлектрические монтерские когти с ремнями, диэлектрические дорожки и коврики, монтажные пояса (для работы на высоте), лестницы-стремянки и приставные лестницы, страхующие канаты [11].

ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»; устанавливает следующие значения предельно допустимых уровней напряжений прикосновения и токов (табл. 16).

Таблица 16 – 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

ПУЭ (6-е изд.) в разд. 1.1.13 определяют в отношении опасности поражения людей электрическим током следующие классы помещений:

Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

сырости (влажность более 75 %) или токопроводящей пыли;

токопроводящих полов (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);

высокой температуры (выше 35 °С);

возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

особой сырости;

химически активной или органической среды;

одновременно двух или более условий повышенной опасности.

Территории размещения наружных электроустановок. В отношении опасности поражения людей электрическим током эти территории приравниваются к особо опасным помещениям.

В помещении подстанции обычно располагаются закрытые распределительные установки, с токоведущими частями, поэтому помещение относится к категории помещений с повышенной опасностью

4.1.2.2. Пожарная безопасность

Электроустановки высокого напряжения требуют к себе повышенного внимания в связи с высокой пожароопасностью. Пожар является одним из наиболее вероятных и разрушительных видов чрезвычайной опасности. Опасными факторами пожара являются: открытый огонь, повышенная температура воздуха и предметов, токсические продукты горения и дым, обрушение и повреждение зданий, взрывы.

При возникновении пожара, должны быть отключены наиболее ответственные потребители действиями релейной защиты и автоматики, чтобы не допустить недоотпуска продукции, жертв среди мирного населения, и расстройство сложного технологического процесса. К техническим мерам относятся современные автоматические средства сигнализации, методы и устройства ограничения распространения огня, автоматические стационарные системы тушения пожаров, первичные средства пожаротушения.

Источником пожаров на ПС могут быть:

- электрический ток;
- неисправность оборудования.
- открытый огонь;
- удар молнии;

В рассматриваемой энергосистеме пожарная опасность обусловлена в большей степени наличием на подстанциях электрооборудования, содержащего

горючие материалы (трансформаторное масло, изоляция кабелей). Наибольшая опасность исходит от маслонаполненных электроустановок

Витковые замыкания в трансформаторе сопровождаются выделением газовой смеси. В случае несрабатывания газовой защиты возможен взрыв трансформатора и выброс горящего масла на территорию ОРУ. Чтобы это предотвратить трансформаторы устанавливаются на фундамент из негорючих материалов и устанавливают маслоотводы, во избежание растекания масла.

На силовом оборудовании должны быть предусмотрены тепловые датчики, которые действуют на сигнал и на отключение оборудования.

В помещениях должны предусматриваться средства пожаротушения: пожарный щит с необходимыми инструментами для тушения пожара (топор, лопаты, ломик, ведра), ящик с песком и огнетушители типа ОУ-8. Для тушения пожара силовых трансформаторов на подстанции должны иметься специально подведенные к ним пожарные краны, вода в которые поступает из резервуара с водой.

Определение пожароопасной категории помещения по категориям В1-В4 осуществляется путем сравнения максимального значения удельной временной пожарной нагрузки на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в таблице 17 [22].

Таблица 17 – Определение категории пожарной опасности

Категория помещения	Удельная пожарная нагрузка g на участке, МДж х м-2	Способ размещения
B1	Более 2200	Не нормируется
B2	От 1401 до 2200	По п. 25 НПБ
B3	От 181 до 1400	То же
B4	От 1 до 180	На любом участке пола помещения площадью 10 м ² . Способ размещения участков пожарной нагрузки определяется согласно п. 25 НПБ

Помещения трансформаторных подстанций относятся к категории В4 по пожарной опасности.

4.2. Экологическая безопасность

Энергетика — один из источников неблагоприятного воздействия на окружающую среду и человека. Она влияет на атмосферу, гидросферу и на литосферу.

Трансформаторные подстанции оказывают влияние на образ жизни и распространение животных и растений, посредством выделения большого количества тепла и электромагнитного излучения. Воздушные линии электропередачи (ВЛ) и подстанции (ПС) в нормальном режиме эксплуатации слабо загрязняют окружающую природную среду. По специфическому воздействию на экологию электрические сети можно отнести к «мягко» влияющим производствам. Загрязнение водной, воздушной среды и почвы, как правило, происходит лишь во время строительства и частично при ремонтных работах.

К специфическим воздействиям ВЛ и ПС относятся: электромагнитные поля, акустический шум, озон, окислы азота, электропоражение птиц, сажающихся на провода, изоляторы и конструкции опор.

Особенно отрицательно воздействуют на живую природу (при определенных условиях) электрические (ЭП) и магнитные (МП) поля. Защитой от этих влияний является соблюдение предельно допустимых уровней (ПДУ) напряженности ЭП, определенных «Санитарными нормами и правилами защиты населения от воздействия ЭП, создаваемого ВЛ промышленной частоты».

Как гигиенические нормы эти ПДУ имеют смысл, но как экологические — практически нет, поскольку не учитывают специфику конкретных биоценозов. Оправданием повсеместного применения указанных ПДУ напряженности ЭП в качестве природоохранных являются экологически безопасная длительная эксплуатация большого числа ВЛ сверх- и ультравысокого напряжения. Однако влияние ПДУ на гидроценозы ничем не подтверждено, поскольку гидросфера — не среда обитания человека.

Таким образом, требуется разработка системы объективных экологических нормативов, определяющих допустимые границы вмешательства человека в ход естественных процессов на соответствующей территории и других средах. Устанавливая ПДУ по ЭП и МП, нужно иметь допустимые средства измерения нормируемых величин. Такие измерители напряженности ЭП и МП, а также метрологические установки для их аттестации разработаны СибНИИЭ. В настоящее время выпущена партия измерителей ЭП, но ими оснащены далеко не все сетевые предприятия и санитарные службы.

Наиболее существенно ВЛ и ПС влияют на орнитофауну. Выбор трасс ВЛ и размещение ПС следует производить с учетом мест расселения и путей миграции птиц, а также в зависимости от их состава и ценности. Защита птиц заключается в создании условий, исключающих их гнездование на опорных

конструкциях ВЛ и ПС, а также в реализации технических решений, препятствующих перекрытию изоляционных промежутков тушками птиц. Кроме того, необходимо региональный видовой состав орнитофауны.

На подстанциях устанавливают различные типы трансформаторов и каждый вид трансформаторов по-своему опасен для человека и окружающей среды и потому требует специального подхода к утилизации. Профессиональная утилизация силовых трансформаторов необходима в связи с тем, что они содержат охлаждающий диэлектрик совтол (полихлорбифенил - ПХБ) — пожароопасную и взрывоопасную, токсичную жидкость, опасную для здоровья человека и окружающей нас природы.

Совтол это охлаждающая субстанция, которая используется в трансформаторах, и которая является чрезвычайно опасной как для человека, так и для окружающей среды, благодаря высокому содержанию хлора. И ко всему прочему она относится к первому классу опасности. Длительное воздействие её паров на дыхательные пути человека может привести к хроническому отравлению хлором всего организма человека. Неоспоримым преимуществом совтола являются его полная негорючесть и прекрасные свойства как диэлектрика, которые сохраняются в течение всего срока работы электроприборов. Использование совтола в качестве замены применяемого трансформаторного масла дало возможность существенно снизить себестоимость строительства электрощитовых помещений, и также снизить затраты на эксплуатацию электроприборов.

Запрет на заполнение электроприборов совтолом был введен в действие в 1985г. Это было запрещено вследствие его высокой токсичности для окружающей среды и человека, а также немалых трудностей при утилизации совтола.

Утилизация трансформаторов и конденсаторов с содержанием полихлорбифенилов требует наличия специального оборудования и сертификата. Утилизации требует не только трансформатор с совтолом, но и

металл, который имел контакт с совтолом, так как после этого он также является зараженным. ЦНИИМаш разработана схема утилизации (сжигания) совтола на высокотемпературной установке ВС-ТВ. Согласно технологической инструкции после слива совтола из трансформатора обмотки, магнитопровод (активное железо) и внутренности корпуса трансформатора должны промываться растворителем, который при этом загрязняется и также подлежит утилизации (сжиганию). Только после промывки обмотки и внутренних частей корпуса можно разбирать и сдавать на утилизацию черный и цветной металлический лом.

4.3. 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 непроизводительной сферы – выполнять заданные функции.

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.

3.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Работники, принимаемые для выполнения работ в электроустановках, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы. При отсутствии профессиональной подготовки работники должны быть обучены, для получения допуска к самостоятельной работе, в специализированных центрах подготовки персонала, таких как: учебных комбинатах, учебно-тренировочных центрах и т.п.

Профессиональная подготовка персонала, повышение его квалификации, проверка знаний и инструктажи проводятся в соответствии с требованиями государственных и отраслевых нормативных правовых актов по организации охраны труда и безопасной работе персонала.

Организационные мероприятия описаны в межотраслевых правилах по охране труда при эксплуатации электроустановок [21].

4.5. Выводы по разделу 4

Таким образом, в данном разделе выпускной квалификационной работы были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, которые воздействуют на работника оперативной службы подстанции. Приведены меры защиты работника от этих факторов. 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. От вредного воздействия 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. Также рассмотрены вопросы воздействия процесса производства на окружающую среду, безопасность при возникновении чрезвычайных ситуаций. Рассмотрены и проанализированы организационные вопросы обеспечения безопасности работника.

Заключение

Таким образом, в ходе проделанной работы были исследованы теоретические аспекты исследования режимов электроэнергетических систем, также рассмотрены методы исследования статической устойчивости, изучены подходящие программные комплексы и выбран наиболее подходящий программный комплекс RastrWin в виду его удобства и широкого функционала для проведения подобных исследований. Во втором разделе были смоделированы нормальные аварийные и предельные по статической устойчивости режимы Кузбасской электроэнергетической сети в программном комплексе RastrWin и рассчитан коэффициент статической устойчивости для двух разных траекторий утяжеления. Было выяснено, что в аварийных режимах коэффициент статической устойчивости снижается примерно на 8-10%. В третьем разделе была составлена смета на проведение данного научно-технического исследования и составлен линейный план-график для исполнителей. В четвертом разделе рассмотрены вопросы безопасности на рабочем месте работника оперативной службы подстанции, а также вопросы влияния трансформаторных подстанций на экологию. Приведены все необходимые контролируемые параметры согласно нормативным документам, такие как параметры микроклимата, освещения, допустимые уровни шума, вибрации и электромагнитного излучения на подстанции.

Список используемых источников

1. Методические указания по устойчивости энергосистем. – М.:Издательство НЦ ЭНАС, 2004.
2. Хрущев Ю.В. Методы расчета устойчивости энергосистем. Учебное пособие. – Томск: STT, 2005. – 176 с.
3. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических энергосистемах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.:Высш.шк.,1985. – 536 с. ил.
4. Программный комплекс «Rastr Win3»: Руководство пользователя / Неуймин В.Г. , Машалов Е.В., Александров А.С., Багрянцев А.А. – Екатеринбург, 12.11.2012. – 260 с.
5. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистеме. –1990 г.– 390 с.;
6. Мелешкин Г.А., Меркурьев Г.В. Устойчивость энергосистем. Монография. Книга 1: СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2006. – 369 с.
7. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / под ред. Л.А. Жукова – М., Энергия, 1979. – 456 с, ил.
8. Калентионик Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем: учебное пособие / Е. В. Калентионик. – Минск: Техноперспектива, 2008. – 375 с.
9. Уилсон Д., Баглейбтер О., Небера А.А., Мониторинг устойчивости энергосистем с применением СМПР:международный опыт, 2013.
10. A. G. Phadke, J. S. Thorpe and M. G. Adamiak, “A New Measurement Technique of Tracking Voltage Phasors, Local System Frequency and Rate of Change of Frequency,” IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 5, May 1983.

11. Куликов.Ю.А.Технология векторной регистрации параметров и ее применение для управления режимами ЕЭС России, 2011.
12. ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»
13. ГОСТ 12.1.005. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны М: ИПК Издательство стандартов, 2002 - 71 с.
14. Охрана труда и безопасности жизнедеятельности [Электронный ресурс]: Микроклимат производственных помещений. – Электрон. дан. 2002 URL: http://ohrana-bgd.narod.ru/proizv_67.html, свободный. – Загл.с экрана. Дата обращения: 29.05.2015
15. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002 – 4 с.
16. Санитарные нормы: СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: нормативно-технический материал. – М: Минздрав России, 2004 – 21 с.
17. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ Средства и методы защиты от шума. Классификация М: -ИПК Издательство стандартов, 2001. - 14 с.
18. Колосов Ю.В./ Защита от вибраций и шума на производстве: учебное пособие / Ю.В. Колосов, В.В Барановский. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 38 с.
19. Санитарные правила и нормы : СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений – М: Минздрав России, 1997 – 15 с.
20. ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения М.: Стандартиформ., 2010. - 26 с.
21. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок Учебно-методические материалы, Красноярск, 2014– 176 с.