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 Электроэнергетических систем

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Настройка автоматики разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ Томской энергосистемы с учетом статических характеристик нагрузки

УДК 621.311.1.027–5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2А	Кондрашов Михаил Анатольевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭСиЭ	Панкратов Алексей Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры менеджмента	Потехина Нина Васильевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Романцов Игорь Иванович	к.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетических систем	Сулайманов Алмаз Омурзакович	к.т.н		

Томск – 2016 г.

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
Р1	Способность и готовность использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики, в своей предметной области
Р2	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовностью использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
Р3	Способность разрабатывать простые конструкции электроэнергетических и электротехнических объектов
Р4	Способность формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде отчета с его публикацией (публичной защитой)
Р5	Способность к монтажу, регулировке, испытаниям и сдаче в эксплуатацию электроэнергетического и электротехнического оборудования
Р6	Готовность к приемке и освоению нового оборудования
Общекультурные компетенции	
Р7	Способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения
Р8	Способность к письменной и устной коммуникации на государственном языке: умением логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; готовностью к использованию одного из иностранных языков
Р9	Способность находить организационно-управленческие решения в нестандартных условиях и в условиях различных мнений и готовностью нести за них ответственность
Р10	Способность в условиях развития науки и изменяющейся социальной практики к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, готовностью приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения
Р11	Способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны

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

Институт Энергетический
Направление подготовки (специальность) 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электроэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

_____ _____ _____
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А2А	Кондрашову Михаилу Анатольевичу

Тема работы:

Настройка автоматики разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ Томской энергосистемы с учетом статических характеристик нагрузки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 653/с, 02.02.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*	Объектом исследования является автоматика разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ Томской энергосистемы размещенная на подстанции «Томская». Требования к данной автоматике представлены в следующих нормативных документах: СТО 59012820.29.240.008-2008 Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем; СТО 56947007-33.040.20.123-2012 Аттестационные требования к устройствам противоаварийной автоматики (ПА). Исходные данные к настройке данной автоматике: количество ступеней данной автоматики – 2; объем отключаемой нагрузки одной ступени 100 МВт.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).*	В ходе выполнения квалификационной работы необходимо произвести исследование: Общих вопросов по функционированию противоаварийной автоматики специального назначения – автоматики предотвращения нарушения устойчивости и наиболее подробно рассмотреть функциональные особенности автоматики разгрузки; Способов задания нагрузки энергетических систем и влияние статических характеристик нагрузки на выбор уставок автоматики разгрузки; Методику определения максимально допустимого перетока активной мощности по контролируемому сечению.
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	Смоделированная схема Томской энергосистемы

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старший преподаватель кафедры менеджмента Потехина Нина Васильевна
Социальная ответственность	Старший преподаватель кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности, к.т.н. Романцов Игорь Иванович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	18.03.2016

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭСиЭ	Панкратов Алексей Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2А	Кондрашов Михаил Анатольевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А2А	Кондрашову Михаилу Анатольевичу

Институт	Энергетический	**Кафедра**	ЭЭС
Уровень образования	Бакалавр	**Направление**	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*	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	Премиальный коэффициент 30%; Коэффициент доплат и надбавок 20%; коэффициент дополнительной заработной платы 12%; Коэффициент, учитывающий накладные расходы 16%; Районный коэффициент 13%
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 27,1 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения*	Морфологический метод. Анализ конкурентных технических решений. SWOT-анализ.
2. *Планирование и формирование бюджета научных исследований*	Формирование плана и графика разработки: -определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)***:**	
1. *Морфологическая матрица* 2. *Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений* 3. *Итоговая матрица* SWOT-анализа 4. *График Ганта* 5. *Бюджет НИ*	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Потехина Н.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2А	Кондрашов Михаил Анатольевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А2А	Кондрашову Михаилу Анатольевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	Бакалавр	**Направление**	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)*	Рабочее место представляет собой помещение электрической подстанции, внутри которой находится электрооборудование под высоким напряжением. Вредные и опасные факторы производственной среды: электрическое и магнитное поля, создаваемые электроустановками; шанс поражения персонала электрическим током; пониженный или повышенный уровень освещенности; повышенный уровень запыленности воздуха рабочей зоны от внешних источников; повышенный уровень загазованности воздуха; не соответствующие нормам параметры микроклимата; нарушение норм по аэроионному составу воздуха; повышенный уровень шума и вибрации от работающих приводных электродвигателей, систем вентиляции и охлаждения, воздействия движущихся частей изделия и частей изделия, нагревающихся до высоких температур. Аварийные и чрезвычайные ситуации – пожары.
2. *Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме*	Правила устройства электроустановок; ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», который устанавливает общие требования безопасности к конструкции электротехнических изделий; ГОСТ Р 12.1.019-2009 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»; СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»; СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»; СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»; ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» и НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности»
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*	В данной части необходимо проанализировать следующие вредные факторы: электрическое и магнитное поля.

(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	
2. *Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой 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)*	В данной части необходимо проанализировать следующие опасные факторы: механические опасности; термические опасности; электробезопасность; пожаровзрывобезопасность.
3. *Охрана окружающей среды:* – *защита селитебной зоны* – *анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);*	Электрическая подстанция оказывает влияние на окружающую среду следующими факторами: электромагнитные поля, акустический шум, озон, окислы азота, электро-поражение птиц, садящихся на провода, изоляторы и конструкции опор, а также возможность растекания трансформаторного масла
4. *Защита в чрезвычайных ситуациях:* – *перечень возможных ЧС на объекте;* – *выбор наиболее типичной ЧС;* – *разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;*	Наиболее вероятной ЧС, которая может возникнуть на подстанции- это пожар, возникший в результате короткого замыкания или неисправности электрооборудования. Пожары на подстанциях могут возникать на трансформаторах, масляных выключателях и в кабельном хозяйстве.
5. *Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:* – *организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны*	Необходимо рассмотреть мероприятия при компоновке рабочей зоны

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2А	Кондрашов Михаил Анатольевич		

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

Институт Энергетический
Направление подготовки (специальность)13.03.02. Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования Бакалавр
Кафедра Электроэнергетических систем (ЭЭС)
Период выполнения (осенний / 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:	10.06.2016

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.04.2016	1 Противоаварийная автоматика	
02.05.2016	2 Модели представления нагрузки	
10.05.2016	3 Методика определения максимально допустимого перетока активной мощности	
23.05.2016	4 Настройка автоматики разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ	
30.05.2016	5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
6.06.2016	6 Социальная ответственность	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭСиЭ	Панкратов Алексей Владимирович	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетических систем	Сулайманов Алмаз Омурзакович	к.т.н		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 94 стр., 9 рисунков, 19 таблиц, 2 приложения.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, аварийный режим, противоаварийное управление, противоаварийная автоматика, статические характеристики нагрузки, максимально допустимый переток.

Объектом исследования автоматика разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ Томской энергосистемы размещенная на подстанции «Томская».

Цель работы – настройка автоматики разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ Томской энергосистемы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к автоматике предотвращения нарушения устойчивости с использованием статических характеристик нагрузки.

В процессе исследования проводилось моделирование Томской энергосистемы в программном комплексе «RastrWIN», имеющем студенческую лицензию; определение максимально допустимого перетока активной мощности по контролируемому сечению без учета и с учетом статических характеристик нагрузки; определение уставок срабатывания устройства контроля предшествующего режима, являющимся устройством дозировки управляющих воздействий для данной автоматики.

В результате исследования были получены значения уставок срабатывания данной автоматики для различных моделей представления нагрузки.

Область применения: электроэнергетические организации, осуществляющие контроль и управление режимом электроэнергетических систем, в первую очередь это ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы» (ОАО «СО ЕЭС») и ПАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» (ПАО «ФСК ЕЭС»).

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 12.1.019-2009 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»

ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности»

СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»

СО 153-34.20.576-2003 Методические указания по устойчивости энергосистем

СТО 59012820.27.010.001-2013 Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях диспетчерского центра ОАО «СО ЕЭС»

СТО 59012820.29.240.008-2008 Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем

СТО 56947007-33.040.20.123-2012 Аттестационные требования к устройствам противоаварийной автоматики (ПА)

СТО 56947007-33.040.20.142-2013 Типовые алгоритмы локальных устройств противоаварийной автоматики (ПА) (ФОЛ, ФОДЛ, ФОТ, ФОДТ, ФОБ)

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

автоматическое отключение нагрузки: Отключение заранее сформированных групп энергопринимающих установок от питающей электрической сети в результате действия автоматики

автоматика предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ): Автоматика, предназначенная для предотвращения нарушения устойчивости параллельной работы электростанций, энергосистем, устойчивости узлов двигательной

нагрузки при аварийных возмущениях (АВ) и обеспечения в послеаварийных режимах нормативного запаса статической устойчивости, осуществляющая контроль режима района управления, фиксацию АВ, выбор и реализацию необходимых управляющих воздействий.

аварийное возмущение: Внезапное изменение режима энергосистемы в результате короткого замыкания, непредвиденного отключения элемента из-за его повреждения, ошибочных действий защиты, автоматики или персонала.

дозировка управляющих воздействий: Процесс решения в устройстве автоматической дозировки воздействий задачи определения управляющего воздействия для каждого пускового органа ПА.

доаварийный/предшествующий режим энергосистемы: режим энергосистемы до возникновения возмущения.

контролируемое сечение: Сечение или частичное сечение, перетоки мощности в котором регулируются или контролируются субъектом оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике.

настройка устройства противоаварийной автоматики: Процесс приведения параметров устройства ПА в соответствие с заданием.

нормативное возмущение: аварийное возмущение, учитываемое в требованиях по обеспечению устойчивости энергосистем при их проектировании и эксплуатации.

максимально допустимый переток активной мощности: Наибольший переток активной мощности в контролируемом сечении, определяемый диспетчерским центром субъекта оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, обеспечивающий допустимые параметры электроэнергетического режима в нормальной (ремонтной) схеме и в послеаварийных режимах после нормативных возмущений.

установившийся режим энергосистемы: Состояние энергетической системы, характеризующееся совокупностью постоянных условий и параметров на некотором интервале времени.

устройство отключения нагрузки (УОН): автоматика быстродействующего отключения нагрузок потребителей от внешнего сигнала, как правило, для реализации управляющего воздействия ПА с целью предотвращения нарушения устойчивости и разделения энергосистемы на несинхронные части.

устройство передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК): технических средство, обеспечивающих быстродействующую, с повышенной надежностью, передачу или приём аварийных сигналов и команд ПА

устойчивость режима электроэнергетической системы: Способность электроэнергетической системы восстанавливать исходный установившийся режим или режим, близкий к исходному при различных возмущениях.

уставка ПА: Значение параметра срабатывания устройства противоаварийной автоматики.

управляющее воздействие: Воздействие на объект управления для достижения целей управления.

противоаварийная автоматика (ПА): совокупность устройств, обеспечивающая измерение и обработку параметров электроэнергетического режима энергосистемы, передачу информации и команд управления и реализацию управляющих воздействий в соответствии с заданными алгоритмами и настройкой для выявления, предотвращения развития и ликвидации аварийного режима энергосистемы.

сечение: совокупность сетевых элементов одной или нескольких связей.

статические характеристики нагрузки (СХН): Зависимость активной и реактивной мощности нагрузки от напряжения и от частоты в семействе установившихся режимов или при медленном изменении параметров установившегося режима.

электроэнергетическая система: Электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электроэнергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии

В данной работе используются следующие сокращения:

АПНУ – автоматическое предотвращение нарушения устойчивости

КЗ – короткое замыкание;

КПР – контроль предшествующего режима;

ЛАПНУ – локальная автоматика предотвращения нарушения устойчивости;

ЛЭП − линия электропередачи;

МДП – максимально допустимый переток активной мощности в контролируемом сечении;

ОН – отключение нагрузки;

ПА – противоаварийная автоматика;

ПДУ – пускодозирующее устройство;

ПО – пусковой орган;

ПУ – пусковое устройство;

ПУЭ – Правила эксплуатации электроустановок;

САОН – специальная автоматика отключения нагрузки;

ССПИ – средство сбора и передачи телеинформации;

СХН – статические характеристики нагрузки;

УВ – управляющее воздействие;

УПАСК – устройство передачи (приема) аварийных сигналов и команд;

ФОТ – фиксация отключения трансформатора;

ФОЛ – фиксация отключения линии;

ЦСПА – централизованная система противоаварийной автоматики;

ЭСТ – электрическая станция

ЭЭС – электроэнергетическая система;

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 16
1 ПРОТИВОАВАРИЙНАЯ АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ 18
1.1 Общие сведения о противоаварийной автоматике 18
1.2 Автоматика предотвращения нарушения устойчивости энергосистемы 20
1.3 Автоматика разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ Томской энергосистемы 24
2 ОБЗОР ВИДОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НАГРУЗКИ 29
2.1 Виды характеристик нагрузки 29
2.2 Классификация моделей нагрузки 30
3 ПОНЯТИЕ И ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ПЕРЕТОКА 35
3.1 Определение допустимого перетока по критерию обеспечения нормативного запаса статической устойчивости по активной мощности 36
3.2 Определение допустимого перетока по критерию обеспечения нормативного запаса статической устойчивости по напряжению 37
3.3 Определение допустимого перетока по критерию обеспечения нормативного запаса статической устойчивости по активной мощности после нормативных возмущений 38
3.4 Определение допустимого перетока по критерию обеспечения нормативного запаса статической устойчивости по напряжению в послеаварийных режимах 39
3.5 Определение допустимого перетока по критерию обеспечения допустимой токовой нагрузки оборудования в нормальной схеме и в послеаварийных режимах 40
3.6 Определение максимально допустимого перетока активной мощности в контролируемом сечении 41
4 НАСТРОЙКА АВТОМАТИКИ РАЗГРУЗКИ ПРИ РАЗРЫВЕ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 500 КВ 42
4.1 Определение максимально допустимого перетока по критерию обеспечения нормативного запаса статической устойчивости по напряжению 45
4.2 Определение максимально допустимого перетока по критерию обеспечения допустимой токовой нагрузки оборудования 47
4.3 Расчет уставок срабатывания устройства контроля предшествующего режима 51
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ 56

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований 57
5.2 SWOT-анализ 60
5.3 Планирование научно-исследовательских работ 62
5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) 66
5.5 Заключение 71
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕСТВЕННОСТЬ 72
6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов 73
6.2 Производственная санитария 73
6.3 Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов 77
6.4 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды 78
6.5 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды 81
6.6 Охрана окружающей среды 84
6.7 Защита в чрезвычайных ситуациях 85
6.8 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 86
6.9 Заключение 86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 88
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА 89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 90
ПРИЛОЖЕНИЯ 93

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетическая отрасль России - это развивающийся в масштабе всей страны высокоавтоматизированный комплекс электростанций, электрических сетей и объектов электросетевого хозяйства, объединенных единым технологическим циклом и централизованным оперативно-диспетчерским управлением. Одно из основных направлений развития данной отрасли является создание объединённых энергосистем, связанных между собой системообразующими линиями электропередачи. Надежная связь между энергосистемами позволяет поддерживать синхронную работу электростанций, электроснабжение потребителей и оптимальный режим работы электроустановок. Поэтому обеспечение надежной работы ЛЭП по условиям статической апериодической устойчивости, допустимой токовой нагрузки и допустимым уровням напряжений является важнейшей задачей, решить которую возможно с использованием противоаварийной автоматики предотвращения нарушения устойчивости.

Цель работы –настройка автоматики разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ Томской энергосистемы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к автоматике предотвращения нарушения устойчивости с использованием статических характеристик нагрузки.

Объектом исследования является автоматика разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ Томской энергосистемы размещенная на подстанции «Томская».

Выполнение работы будет осуществляться с применением программного комплекса «RastrWin3» студенческой лицензии.

В работа состоит из следующих разделов: противоаварийная автоматика в котором описывается принципы функционирования автоматики разгрузки при разрыве электропередачи; обзор видов представления нагрузки, описывается модели задания электрической нагрузки; понятие и определение максимально допустимого перетока активной мощности, раздел в котором описана методика

определения максимально допустимого перетока активной мощности в контролируемом сечении; настройка автоматики разгрузки, в котором отражены практические аспекты настройки автоматики разгрузки и дополнительные разделы – социальная ответственность и финансовый менеджмент, определяющие ресурсоэффективность данного исследования и требования безопасности, предъявляемые к электроустановкам.

Область применения исследования являются электроэнергетические организации, осуществляющие контроль и управление режимом электроэнергетических систем, в первую очередь это ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы» (ОАО «СО ЕЭС») и ПАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» (ПАО «ФСК ЕЭС»).

1 ПРОТИВОАВАРИЙНАЯ АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ

1.1 Общие сведения о противоаварийной автоматике

Для предотвращения возникновения и развития аварийных процессов в энергосистеме и ускорения восстановления нормального режима служит противоаварийная автоматика (ПА). Благодаря ее применению удается избежать системных аварий, сопровождающихся нарушением электроснабжения потребителей на значительной территории.

То есть с помощью противоаварийной автоматики производится автоматическое противоаварийное управление, под которым следует понимать следующее: автоматическое противоаварийное управление – это управление режимом энергосистемы посредством специальных автоматических устройств противоаварийной автоматики, цель которого заключается в предотвращении развития нарушений нормального режима, сопровождающихся высокой скоростью изменения его параметров, при которой неэффективны системы автоматического и оперативного управления нормальными режимами.

Весь комплекс противоаварийной автоматики состоит из нескольких подсистем, выполняющих следующие функции:

- Автоматического предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ);
- Автоматической ликвидации асинхронного режима (АЛАР);
- Автоматического ограничения снижения (повышения) частоты (АОСЧ, АОПЧ);
- Автоматического ограничения снижения (повышения) напряжения (АОСН, АОПН);
- Автоматического ограничения перегрузки оборудования (АОПО).

В целом устройства противоаварийной автоматики оценивают состояние энергосистемы, выявляют наличие аварийного возмущения и оценивают его тяжесть, определяют необходимость и требуемую интенсивность управляющих воздействий (УВ) и, следовательно, дают команды на реализацию этих воздействий. [1, 2]

При проектировании эффективность ПА должна обеспечиваться в нормальных и утяжеленных режимах при расчетных (нормативных) возмущениях в нормальных и ремонтных схемах [3].

Под нормативными возмущениями имеется в виду наиболее тяжелые возмущения, учитываемые в требованиях к устойчивости [4], разделенные на три группы: I, II и III. К первой группе (I) можно отнести короткое замыкание с отключением элементов сети; ко второй (II) также можно отнести короткое замыкание с отключением элементов сети, но в зависимости от условий протекания данного КЗ и скачкообразный аварийный небаланс активной мощности по причине отключения генератора или блока генератора с общим выключателем, отключения двух генераторов АЭС, подключенных к одному реакторному блоку; к третьей группе (III) относятся возмущения вызванные скачкообразный аварийный небаланс активной мощности по причине отключения мощности, подключенной к одной системе шин или распредустройства одного напряжения электростанции, когда рассматривается устойчивость параллельной работы по связям между ОЭС, кроме этого относят: одновременное отключение двух ВЛ расположенных в общем коридоре более, чем на половине длины более короткой линии, в результате возмущения группы I; возмущения групп I и II с отключением элемента сети или генератора. [4]

При эксплуатации ПА должна действовать как в условиях расчетных режимов и возмущений, так и в условиях нерасчетных режимов и возмущений при:

- возмущениях режима энергосистемы, превышающих принимаемые при проектировании расчетные (нормативные) возмущения;
- наложениях плановых ремонтов и аварийных отключений;
- ложном срабатывании или отказе в действии релейной защиты и автоматики;
- отказе в срабатывании выключателей;
- выходе из строя устройств автоматического регулирования технологических процессов;

– ошибочных действиях персонала;
– неблагоприятном сочетании факторов и условий, в совокупности приводящих к возникновению режимов с пониженными резервами, запасами пропускной способности сечений, напряжениями.

В условиях расчетных режимов и возмущений должна быть обеспечена эффективность ПА. В условиях нерасчетных режимов и возмущений допускается неэффективность ПА. [5]

Рассматриваемая в данной работе автоматика относится к подсистеме АПНУ, поэтому внимание будет акцентировано на более подробном рассмотрении данной подсистемы.

1.2 Автоматика предотвращения нарушения устойчивости энергосистемы

Подсистема АПНУ предназначена для предотвращения нарушения динамической устойчивости при возмущениях в энергосистеме и обеспечения нормативного запаса по статической устойчивости в послеаварийном режиме работы для основных линий электропередачи контролируемого района энергосистемы. Под аварийным возмущением понимается внезапное резкое изменение режимных параметров энергосистемы в результате короткого замыкания, отключения элемента сети из-за его повреждения, действия релейной защиты или ошибочных действий обслуживающего персонала, а также резкого изменения баланса активной мощности по иным причинам.

Все устройства, относящиеся к подсистеме АПНУ, можно разделить на следующие группы [1]:

– Локальные (однофункциональные устройства противоаварийной автоматики) ЛАПНУ – реагируют на местные признаки опасных изменений схемы и режима; реализуют управляющие воздействия в пределах одного объекта;
– Децентрализованные комплексы – ряд устройств, взаимосвязанных общностью режима района управления, согласованных по принципам действия и настройке, а также по условиям резервирования;

– Централизованные системы противоаварийной автоматики (ЦСПА) – программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий в автоматическом режиме сохранение устойчивости работы энергосистемы при возникновении аварийных возмущений.

Кроме этого устройства ЛАПНУ должны поддерживать два режима работы: локальной автоматики предотвращения устойчивости (ЛАПНУ) и низового устройства ЦСПА. Устройство ЛАПНУ, работающее в качестве низового устройства ЦСПА, должно автоматически переключаться в автономный режим работы (режим ЛАПНУ) при появлении неисправности программно-технического комплекса (ПТК) верхнего уровня ЦСПА или каналов связи ЛАПНУ с ПТК верхнего уровня ЦСПА.

Также к устройствам ЛАПНУ выставляются следующие требования: устройства АПНУ должны обеспечивать: ввод и обработку доаварийной информации о параметрах электроэнергетического режима и состоянии электрической сети; выбор управляющих воздействий (УВ) из таблицы УВ при поступлении сигнала ПО; обмен информацией с сервером ЦСПА; исходными данными для работы алгоритмов устройства ЛАПНУ должны быть данные, поступающие от следующих источников: дискретные модули ввода; аналоговые модули ввода; модули ввода информации с помощью цифровых протоколов передачи данных; объем оперативной памяти устройства ЛАПНУ должен быть достаточным для хранения двух таблиц управляющих воздействий: режима ЛАПНУ и режима низового устройства ЦСПА; для расчета управляющих воздействий устройство ЛАПНУ должно выполнять достоверизацию аналоговых параметров режима путем: выявления выхода измерения аналогового параметра за границы заданного технологического диапазона; учитывать состояние входных дискретных сигналов о неисправностях датчиков или оборудования передачи аналоговых измерений.

Функционально подсистема ЛАПНУ состоит из следующих элементов:

– Пусковые (ПУ) или пускодозирующие (ПДУ) устройства;

– Устройства дозировки управляющих воздействий (УДВ);
– Устройства запоминания дозировки управляющих воздействий (УЗД);
– Устройства передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК);
– Исполнительные устройства (ИУ)

Пусковое устройство фиксирует вызванное аварийным возмущением изменение схемы электрической сети или значений режимных параметров и выбирает требуемые управляющие воздействия из состава запомненных в УЗД.

Пускодозирующие устройства обладают способностью самостоятельно оценивать степень тяжести аварийного возмущения и поэтому могут в отдельных случаях формировать требуемые управляющие воздействия без использования устройства дозировки управляющих воздействий (УДВ).

В качестве причины срабатывания пусковых органов в системе АПНУ должны использоваться следующие пусковые факторы:
– факт отключения ЛЭП (ФОЛ);
– факт отключения двух ЛЭП (ФОДЛ);
– факт отключения системы шин (ФОСШ);
– факт отключения (авто)трансформатора (ФОТ/ФОАТ);
– факт близкого к шинам электростанции или затяжного КЗ (БКЗ, ЗКЗ);
– факт сброса активной мощности (ФСМ).
– факт превышения перетока активной мощности по контролируемому сечению заданной величины.

Устройства дозировки воздействий контролируют исходное состояние схемы сети (устройства фиксации ремонта – УФР) и режима (контроль предшествующего режима – КПР) охватываемого района, определяют УВ, фиксируют их или выдают для запоминания в УЗД.

Для устройств автоматики предотвращения нарушения устойчивости существует принципиально два способа дозировки воздействия [6]:

1) Способ «ПОСЛЕ» – обработка информации для выработки управляющего воздействия начинается после того, как поступили сигналы от пусковых

органов о возмущениях, поэтому вычислительные устройства для реализации данного способа должны обладать высоким быстродействием (рисунок 1).

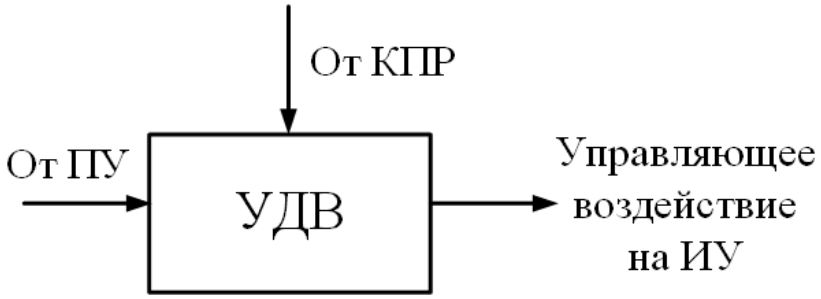

Рисунок 1 – Первый принципиальный способ УДВ

2) Способ «ДО» – дозировка воздействий для определенного диапазона предшествующих режимов вычисляются заранее и затем, возможные дозировки запоминаются устройством УЗД (рисунок 2). Далее, в зависимости от возникшего возмущения, выбирается та дозировка, которая в соответствии с выполненными ранее расчетами является наилучшей для данной ситуации.

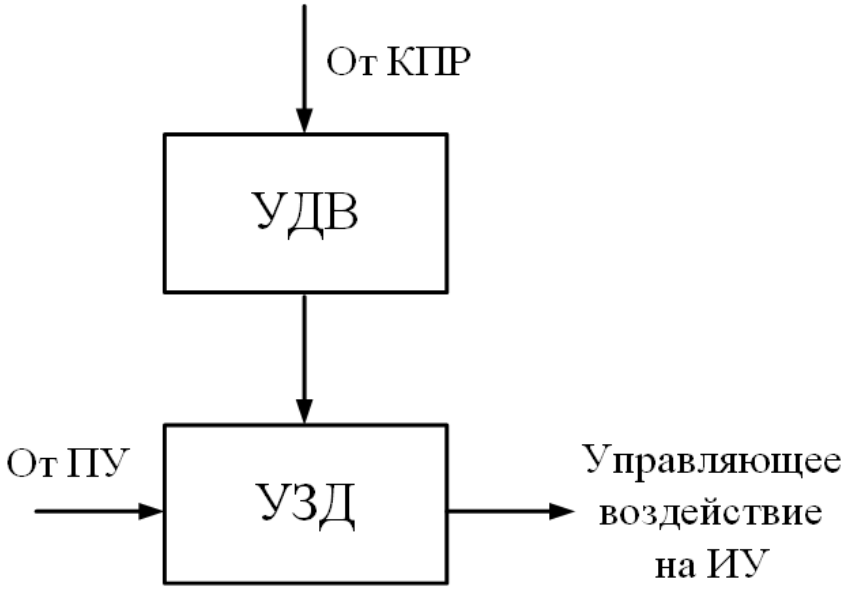

Рисунок 2 – Второй принципиальный способ УДВ

Выбор управляющих воздействий для режима ЛАПНУ должен осуществляться в соответствие с принципом II-ДО, который основывается на проведении большого объема предварительных расчетов, на основе которых заполняются таблицы дозировки управляющих воздействий, очевидно, что при проведении предварительных расчетов практически можно учесть только ограниченное количество схемно-режимных ситуаций.

При работе автоматики предотвращения нарушения устойчивости могут быть использованы данные управляющие воздействия, которые выполняют следующие функции:

– Разгрузка контролируемого сечения (РТ –разгрузка турбины; ОГ – отключение генераторов; ОН – отключение нагрузки; ДС – деление энергосистемы на не синхронно работающие части);
– Увеличение его пропускного сечения (ФВ – программная форсировка возбуждения генераторов; ФК – форсировка компенсации; ОШР – отключение шунтирующих реакторов);
– Гашение избыточной кинетической энергии генераторов, накопленной в результате возмущения (КРТ – кратковременная (импульсная) разгрузка паровой турбины, ОГ).

Реализация управляющих воздействий осуществляется исполнительными устройствами, в которых также могут выполняться измерение и фиксация параметров энергосистемы, причем как в доаварийном режиме, так и в текущем состоянии.

1.3 Автоматика разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ Томской энергосистемы

Основной задачей данной работы является настройка устройства, выполняющего функции автоматики разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ, связывающей Томскую энергосистему с Кузбасской и Красноярской энергосистемами. На рисунке 3 представлена схема основных связей энергосистемы:

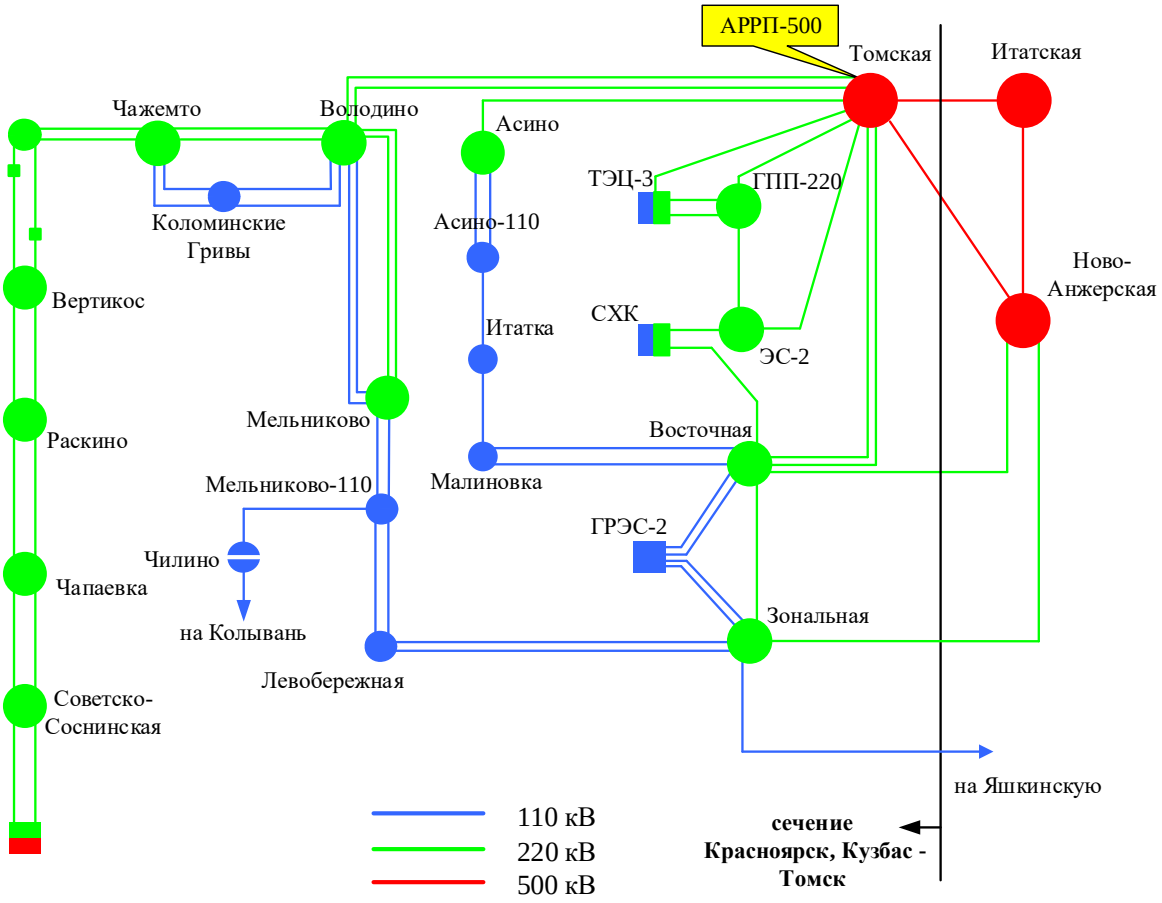

Рисунок 3 – Схема основной системообразующей сети 500-220-110 кВ Томской энергосистемы

Как видно, связь Томской энергосистемы с другими энергосистемами образована воздушными линиями электропередачи: ВЛ 500 кВ Итатская – Томская; ВЛ 500 кВ Ново-Анжерская – Томская; ВЛ 220 кВ Ново-Анжерская – Восточная (АТ-216); ВЛ 220 кВ Ново-Анжерская – Зональная (АТ-215). Томская энергосистема является энергодефицитной и весь небаланс генерируемой мощности поступает из энергосистем Кузбасса и Красноярска. Поэтому разрыв электропередачи недопустим, в виду возникающего небаланса активной мощности, приводящего к снижению частоты и асинхронной работы энергосистемы. Основная часть транзита активной мощности происходит по линиям 500 кВ, т.к. как данные линии имеют больший предел передаваемой мощности, поэтому при разрыве электропередачи 500 кВ, весь транзит начинает протекать по линиям 220 кВ, которые могут не обладать достаточным коэффициентом запаса по активной

мощности. На основании вышесказанного установка данной автоматики крайне необходима.

Основное предназначение данной автоматики является разгрузка сечения при одновременно или последовательно происходящем отключении двух ЛЭП по любой причине как в нормальной, так и в ремонтных схемах до уровня, не опасного для устойчивости энергосистемы. Данной автоматикой защищается сечение «Красноярск, Кузбасс – Томск», показанное на рисунке 3.

Функциональная схема автоматики разгрузки при разрыве электропередачи представлена на рисунке 4:

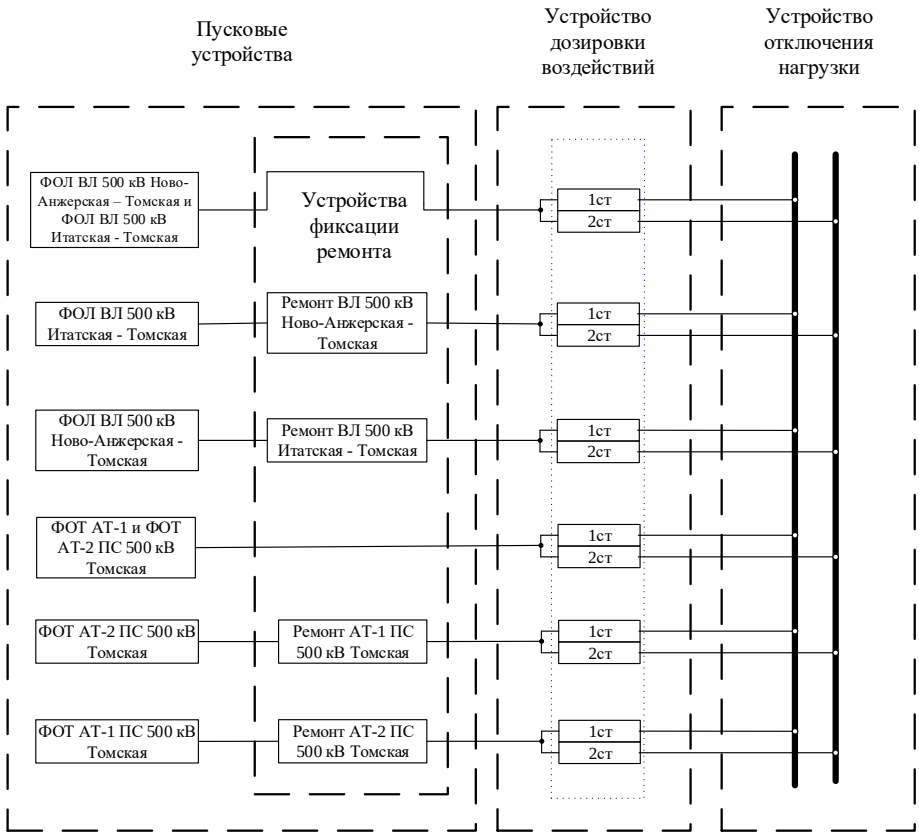

Рисунок 4 – Функциональная схема автоматики разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ (АРРП-500)

Как видно, автоматика состоит из пусковых устройств – устройств фиксации отключения линий (ФОЛ) 500 кВ Ново-Анжерская – Томская и Итатская – Томская и фиксации отключения автотрансформаторов (ФОАТ) подстанции «Томская» АТ-1 и АТ-2, которые образуются устройствами фиксации отключе-

ния выключателей (ФОВ) и устройством фиксации ремонта (УФР) ЛЭП и автотрансформаторов; устройства дозировки воздействий выполненного на базе устройства предшествующего режима (УКПР) и устройства отключения нагрузки на базе специальной автоматики отключения нагрузки (САОН).

Согласно [7] устройство ФОЛ в месте его установки должно фиксировать: трехфазное отключение линии до ТАПВ; трехфазное отключение линии после неуспешного ТАПВ; включенное состояние линии в том месте, где установлено устройство ФОЛ; отключение одной фазы линии в цикле ОАПВ; состояние «Ремонт линии»; состояние «Работа линии».

Устройство ФОАТ должно фиксировать: отключение автотрансформатора; состояние «Ремонт автотрансформатора»; состояние «Работа автотрансформатора».

Функция контроля предшествующего режима (КПР) предназначена для фиксации величины трехфазной активной мощности, передаваемой по линии электропередачи (группе линий, входящих в сечение) в режиме, предшествующем аварийному возмущению. [8]. Фиксация мощности должна осуществляться при величине активной мощности, равной или превышающей заданную уставку по мощности в течение заданного интервала времени. Коэффициент возврата по мощности должен быть регулируемым с верхним значением не менее 0,98 для отстройки от коротких замыканий, цикла автоматического повторного включения, кратковременных колебаний мощности.

Диапазон уставок по активной мощности должен составлять:

- для номинального тока 1 А - от 0 Вт до 100 Вт (с шагом 1 Вт);
- для номинального тока 5 А - от 0 Вт до 500 Вт (с шагом 1 Вт).

Диапазон уставок по времени срабатывания и времени возврата ступеней КПР должен составлять не более 10,0 секунд с дискретным шагом задания – не более 0,3 с.

На рисунке 5 представлена принципиальная схема устройства КПР и схема оперативного тока:

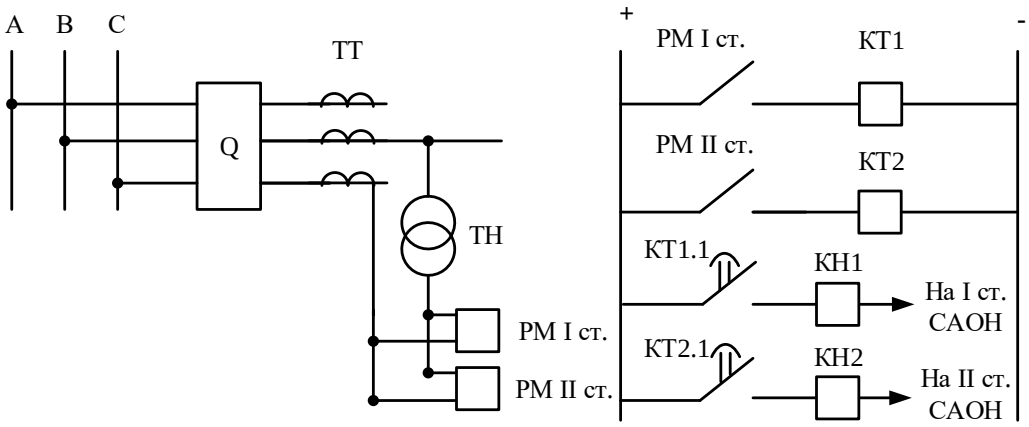

Рисунок 5 – Принципиальная схема устройства КПР и схема оперативного тока

Специальная автоматика отключения нагрузки предназначена для обеспечения быстродействующего селективного отключения потребителей. Как правило, действием САОН отключаются концентрированные энергоемкие потребители, по характеру технологического процесса и степени ответственности допускающие внезапный перерыв питания на время, достаточное для принятия энергосистемой срочных мер по мобилизации резервов генерирующей мощности или по введению ограничения у других потребителей.

Структурно схему функционирования САОН можно представить следующим образом:

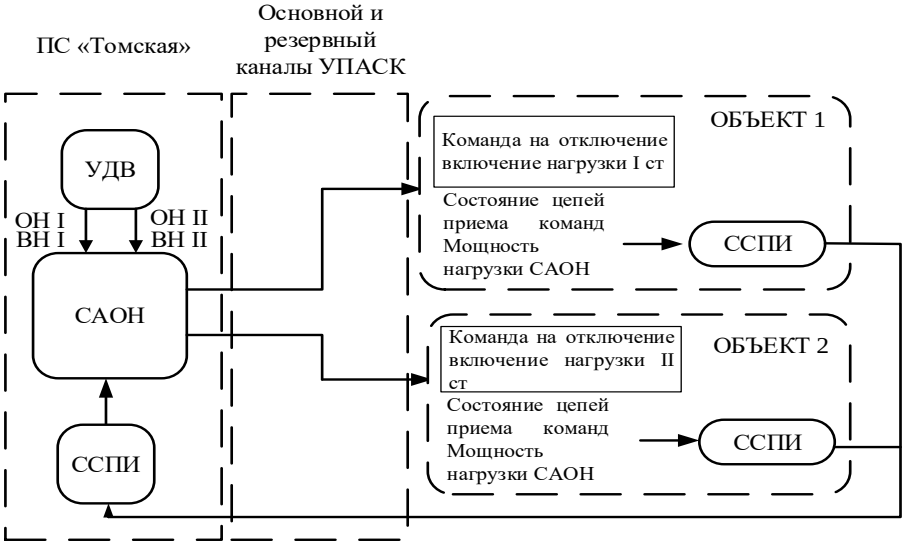

Рисунок 6 – Структурная схема функционирования специальной автоматики отключения нагрузки

2 ОБЗОР ВИДОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НАГРУЗКИ

2.1 Виды характеристик нагрузки

Вид характеристики эквивалентной нагрузки крупного потребителя определяется множеством факторов: составом нагрузки (доля синхронных и асинхронных двигателей, печей, осветительной, бытовой, выпрямительной нагрузки и т.д.), режимом работы электроприёмников, схемой их соединения, параметрами вводного трансформатора, наличием средств регулирования напряжения, мощностью компенсирующих устройств и т.д.

Различают статические характеристики нагрузки (СХН) и динамические характеристики нагрузки (ДХН).

Статические характеристики нагрузки по напряжению – это зависимости активной и реактивной мощности нагрузки от приложенного напряжения в установившемся режиме $P(U), Q(U)$ при постоянной (как правило, номинальной) частоте. Для большинства крупных узлов энергосистемы СХН по напряжению приближенно описывается полиномом второй степени:

$$\begin{aligned} P(U) &= P_{BAS} \cdot \left(a_0 + a_1 \cdot \frac{U}{U_{BAS}} + a_2 \cdot \left(\frac{U}{U_{BAS}} \right)^2 \right), \\ Q(U) &= Q_{BAS} \cdot \left(b_0 + b_1 \cdot \frac{U}{U_{BAS}} + b_2 \cdot \left(\frac{U}{U_{BAS}} \right)^2 \right). \end{aligned} \qquad (1)$$

Статические характеристики нагрузки по частоте – это зависимости активной и реактивной мощности нагрузки от частоты в установившемся режиме $P(f), Q(f)$. Статические характеристики нагрузки по частоте определяются либо при поддержании неизменного напряжения в узле, либо при напряжении, изменяющимся вследствие изменения частоты.

Динамические характеристики нагрузки по напряжению – это зависимости активной и реактивной мощности нагрузки от напряжения и времени $P(U,t)$, $Q(U,t)$ при различных процессах изменения напряжения $U(t)$ или $P(U, \frac{dU}{dt})$,

$Q(U,\frac{dU}{dt})$. Динамические характеристики по частоте – это зависимости активной и реактивной мощности нагрузки от частоты и времени $P(f,t), Q(f,t)$ или $P(f,\frac{df}{dt})$, $Q(f,\frac{df}{dt})$ [9].

Поскольку в работе не рассматриваются режимы с выделением энергосистемы Томской области на изолированную работу, частота в системе изменяется незначительно и влиянием характеристик нагрузки по частоте на режим можно пренебречь. В дальнейшем в работе будут рассматриваться только СХН по напряжению.

2.2 Классификация моделей нагрузки

В зависимости от значений коэффициентов в (1) могут быть получены различные модели нагрузки [9,10].

Характеристики нагрузки, заданной различными методами представлены на рисунке 7:

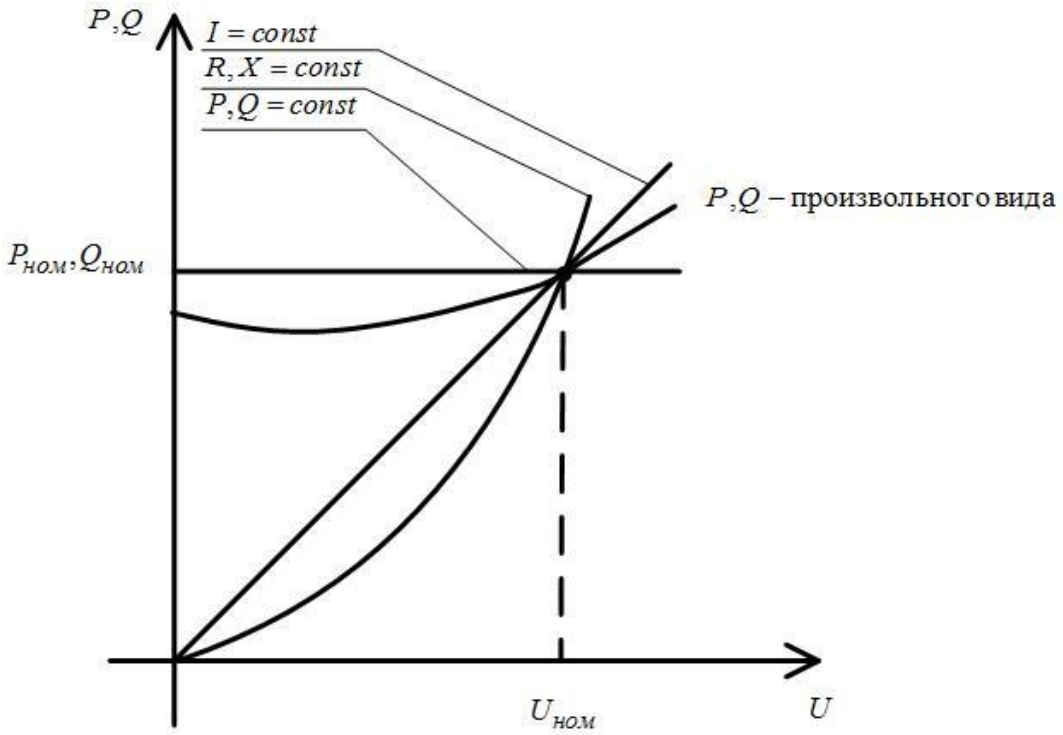

Рисунок 7 Статические характеристики нагрузки по напряжению для различных способов задания нагрузки

Далее более подробно остановимся на каждом способе представления нагрузки.

2.2.1 Представление нагрузки постоянной мощностью

При подстановке в выражение (1) коэффициентов $a_1 = 0, a_2 = 0, b_1 = 0 \; и \; b_2 = 0$ то получаем следующие зависимости активной и реактивной мощности от напряжения:

$$P(U) = P_{BAS} \cdot a_0 = const$$
$$Q(U) = Q_{BAS} \cdot b_0 = const$$

Использование данного способа целесообразно для электрических сетей, полностью обеспеченных устройствами регулирования напряжения, т.к. в таких сетях напряжение поддерживается на практически постоянном уровне и, следовательно, напряжение на нагрузке не изменяется и мощность остается постоянной. Но в действительности напряжение у потребителя непостоянно по абсолютному значению и поэтому данный способ приводит к ошибкам в расчетах, пропорционально отклонению напряжения от номинального значения. Поэтому учёт нагрузки постоянной мощностью можно считать точным в проектных расчётах при использовании прогнозных значений нагрузок узлов.

2.2.2 Представление нагрузки постоянным шунтом

При расчётах режимов электрической сети со значительными изменениями напряжения в узлах сети и необходимостью учёта нагрузки нелинейного характера зависимости мощностей нагрузок от напряжения нагрузки представляются постоянными проводимостями. Значение проводимости выбирается таким образом, чтобы потери мощности в шунте соответствовали нагрузке потребителей.

При подставке в выражение (1) коэффициентов $a_0 = 0, a_1 = 0, b_1 = 0 \; и \; b_0 = 0$ то получаем следующие зависимости активной и реактивной мощности от напряжения:

$$P(U) = P_{BAS} \cdot a_2 \cdot \left(\frac{U}{U_{BAS}} \right)^2 \Rightarrow \frac{P^*(U^*)}{\left(U^*\right)^2} = a_2 = G = const$$

$$Q(U) = Q_{BAS} \cdot b_2 \cdot \left(\frac{U}{U_{BAS}} \right)^2 \Rightarrow \frac{Q^*(U^*)}{\left(U^*\right)^2} = b_2 = B = const$$

На рисунке 8 показана схема замещения нагрузок при параллельном и последовательном соединениях R_H и X_H.

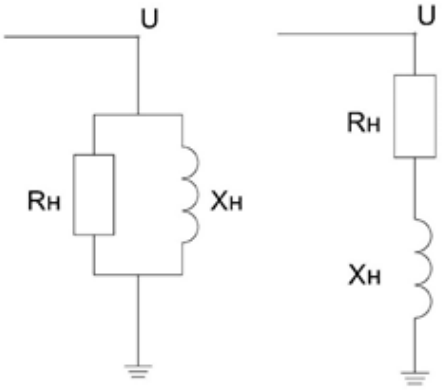

Рисунок 8 – Схема замещения нагрузки, представленной постоянным шунтом

Несмотря на то, что такой способ задания нагрузки позволяет учитывать зависимость мощности от напряжения, он используется редко, поскольку для «тяжёлых» электрических режимов, характеризующихся пониженным напряжением, данная модель даёт неоправданно оптимистический результат.

2.2.3 Представление нагрузки неизменным током

При подстановке в выражение (1) коэффициентов $a_0 = 0,\ a_2 = 0,\ b_2 = 0\ и\ b_0 = 0$ то получаем следующие зависимости активной и реактивной мощности от напряжения:

$$P(U) = P_{BAS} \cdot a_1 \cdot \frac{U}{U_{BAS}} \Rightarrow \frac{P^*(U^*)}{\left(U^*\right)} = a_1 = I_A = const$$

$$Q(U) = Q_{BAS} \cdot b_1 \cdot \left(\frac{U}{U_{BAS}} \right) \Rightarrow \frac{Q^*(U^*)}{\left(U^*\right)} = b_1 = I_P = const$$

Данная модель нагрузки по сути является линеаризацией полиноминальной модели. Её применение допустимо в задачах, где напряжение изменяется в небольшом диапазоне около номинального значения. В случае больших колебаний напряжения линейная модель будет давать значительную погрешность в расчёте мощности нагрузки, т.к. не учитывает зависимость тока от напряжения в узле.

2.2.3 Моделирование нагрузки с учётом всех коэффициентов полинома

Значительная доля нагрузки в ЭС обусловлена потреблением промышленных предприятий, наиболее распространёнными электроприёмниками на которых являются асинхронные электродвигатели. Типовая СХН по напряжению асинхронного электродвигателя содержит ненулевые коэффициенты перед всеми членами полинома. Данный способ наиболее полно отражает свойства нагрузки, но его использование приводит к усложнению расчетов. Во многих случаях эти характеристики неизвестны и возможно применение только типовых.

2.2.4 Значения коэффициентов СХН

В данной работе будут использованы статические характеристики нагрузки: обобщенные, с сильной зависимостью от напряжения и с слабой зависимостью от напряжения.

В качестве граничных значений будут использованы нагрузка, заданная постоянной мощностью по активной и реактивной мощностям и нагрузка, заданная постоянным шунтом по активной и реактивной мощностям. [10] Коэффициенты квадратичного полинома для СХН с слабой и сильной зависимостями взяты по данным активного эксперимента [11]. Используемые СХН представлены на рисунке 9:

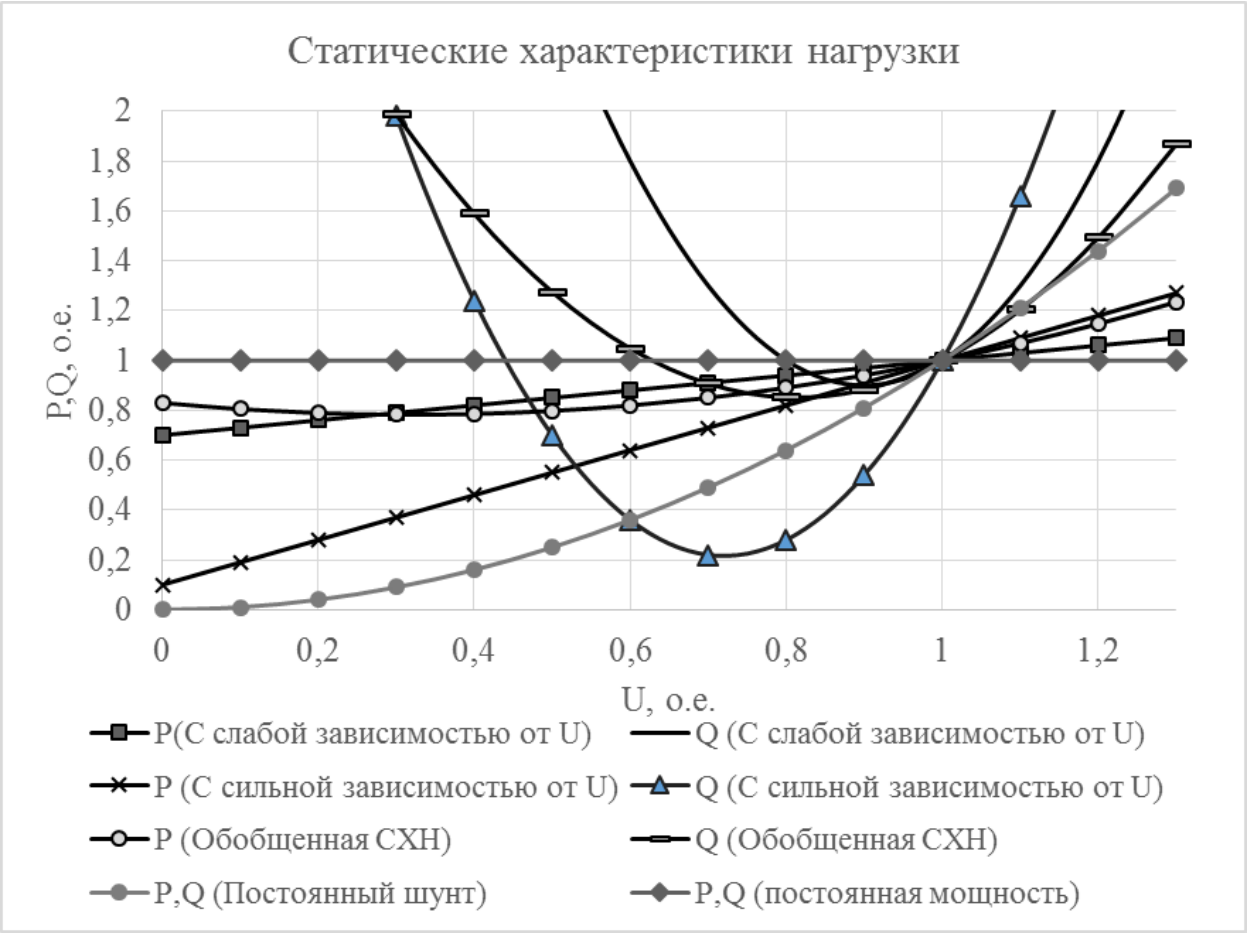

Рисунок 9 – Статические характеристики нагрузки

Значения коэффициентов квадратичного полинома (1) представлены в таблице 1 для различных типов характеристик нагрузки:

Таблица 1 – Значения коэффициентов квадратичного полинома

Тип	Активная мощность			Реактивная мощность		
	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	b_2
Обобщенная СХН	0.83	-0.3	0.47	3.7	-7	3.3
СХН с сильной зависимостью	0,1	0,9	0	10	-14,4	5,4
СХН с слабой зависимостью	0,7	0,3	0	9	-18	10
Постоянная мощность	1	0	0	1	0	0
Постоянный шунт	0	0	1	0	0	1

3 ПОНЯТИЕ И ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ПЕРЕТОКА

Максимально допустимый переток активной мощности (МДП) – наибольший переток активной мощности в контролируемом сечении, обеспечивающий допустимые параметры электроэнергетического режима в нормальной (ремонтной) схеме и в послеаварийных режимах после нормативных возмущений [12,13].

МДП должен соответствовать следующим критериям:

- коэффициент запаса статической устойчивости по активной мощности в контролируемом сечении в нормальной (ремонтной) схеме – не менее 0,20;
- коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки в нормальной (ремонтной) схеме – не менее 0,15;
- коэффициент запаса статической устойчивости по активной мощности в контролируемом сечении в послеаварийных режимах при нормативных возмущениях – не менее 0,08;
- коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки в послеаварийных режимах при нормативных возмущениях – не менее 0,10;
- отсутствие нарушения динамической устойчивости при нормативных возмущениях.
- токовые нагрузки электросетевого и генерирующего оборудования не превышают длительно допустимых значений в нормальной (ремонтной) схеме и аварийно допустимых (на время 20 минут) значений в послеаварийных режимах при нормативных возмущениях.

Расчёт МДП осуществляется с помощью утяжеления электрического режима. Под утяжелением понимается пошаговое изменение параметров режима, приводящее к увеличению перетока активной мощности в контролируемом сечении. Совокупность параметров, изменяемых в ходе утяжеления называется траектория утяжеления.

Траектории утяжеления, как правило, задаются сбалансированными, т.е. таким образом, чтобы приращение активной мощности нагрузки соответствовало приращению активной мощности генерации; снижение мощности генерации в дефицитной части энергосистемы соответствовало увеличению мощности генерации в избыточной части энергосистемы и т.д.

В качестве расчетной траектории утяжеления должна приниматься такая траектория утяжеления, которой соответствует наименьший предельный по статической устойчивости переток активной мощности в контролируемом сечении.

3.1 Определение допустимого перетока по критерию обеспечения нормативного запаса статической устойчивости по активной мощности

Величина допустимого перетока активной мощности по критерию обеспечения нормативного коэффициента запаса статической устойчивости (20%) по активной мощности в нормальной схеме определяется по формуле [12,13]:

$$P_{допСУ} = \frac{P_{ПРЕД} - P_{НО}}{1 + K_{запСУ\,нс}} \qquad (2)$$

где $P_{допСУ}$ – допустимый переток активной мощности по критерию обеспечения нормативного коэффициента запаса статической устойчивости по активной мощности в нормальной схеме, МВт;

$P_{ПРЕД}$ – предельный по статической устойчивости переток активной мощности в контролируемом сечении, МВт;

$P_{НО}$ – амплитуда нерегулярных отклонений активной мощности в контролируемом сечении, МВт;

$K_{запСУ\,нс}$ – нормативный коэффициент запаса статической устойчивости по активной мощности в нормальной схеме.

Значение амплитуды нерегулярных отклонений активной мощности устанавливается для каждого сечения энергосистемы (в том числе, частичного) по данным измерений. При отсутствии таких данных расчетная амплитуда нерегулярных колебаний активной мощности сечения может быть определена по выражению:

$$\Delta P_{HO} = K \cdot \sqrt{\frac{P_{H1} \cdot P_{H2}}{P_{H1} + P_{H2}}} \qquad (3)$$

где $P_{H1,}$ P_{H2} – суммарные мощности нагрузки с каждой из сторон рассматриваемого сечения, МВт.

K – коэффициент, принимается равным 1,5 при оперативном регулировании перетока мощности в сечении, $\sqrt{\text{МВт}}$.

Амплитуда нерегулярных колебаний, найденная для сечения, может быть распределена по частичным сечениям в соответствии с коэффициентами распределения мощности в этом сечении.

Примечания:

1) В случае оперативного (неавтоматического) изменения уставок ограничителей (регуляторов) перетоков при аварийном изменении схемы сечения их действие в послеаварийном режиме не учитывается.

2) Для всех режимов допускается принимать величину ΔP_{HO} для режима максимальных нагрузок.

3.2 Определение допустимого перетока по критерию обеспечения нормативного запаса статической устойчивости по напряжению

Величина допустимого перетока активной мощности в контролируемом сечении по критерию обеспечения нормативного коэффициента запаса (15%) статической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки в нормальной схеме определяется по формуле [12,13]:

$$P_{donU} = P(U_{don}) - P_{HO} \qquad (4)$$

где P_{donU} – допустимый переток активной мощности в контролируемом сечении по критерию обеспечения нормативного коэффициента запаса статической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки в нормальной схеме, МВт;

U_{don} – допустимое напряжение в узле нагрузки в нормальной схеме, кВ;

$P(U_{don})$ – переток активной мощности в контролируемом сечении, соответствующий допустимому напряжению в контролируемых узлах, МВт.

Величина допустимого напряжения, в соответствии с которой должен определяться допустимый переток активной мощности по критерию обеспечения нормативного коэффициента запаса статической устойчивости по напряжению, определяется по формуле:

$$U_{доп} = \frac{U_{кр}}{1 - K_{зап}} = \frac{U_{кр}}{0{,}85} \quad (5)$$

где $U_{кр}$ – критическое напряжение в узле нагрузки, кВ;

$K_{зап}$ – нормативный коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению в узле нагрузки.

Критическое напряжение в узле нагрузки соответствует границе статической устойчивости электродвигательной. При проведении расчетов его величину следует принимать на основании фактических данных, представленных потребителем. При отсутствии таких данных величину критического напряжения в узлах нагрузки 110 кВ и выше следует принимать равной:

$$U_{кр} = 0{,}7 \cdot U_{ном} \quad (6)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение электрической сети, кВ.

3.3 Определение допустимого перетока по критерию обеспечения нормативного запаса статической устойчивости по активной мощности после нормативных возмущений

Переток активной мощности в доаварийном режиме должен быть таким, чтобы во всех послеаварийных режимах с учетом действия устройств и комплексов противоаварийной автоматики, обеспечивался нормативный (8%) коэффициент запаса статической устойчивости по активной мощности для послеаварийного режима. Величина этого перетока определяется по формуле [12,13]:

$$P_{доп\ СУ\ п/ав} = P_{д/ав}(P_{п/ав}) - P_{НО} + \Delta P_{ПА} \quad (7)$$

где $P_{доп\ СУ\ п/ав}$ – допустимый переток активной мощности по критерию обеспечения нормативного коэффициента запаса статической устойчивости по активной мощности в контролируемом сечении в послеаварийном режиме, МВт;

$P_{\text{д/ав}}$ – переток активной мощности в контролируемом сечении в доаварийном режиме, МВт;

$P_{\text{п/ав}}$ – переток активной мощности в контролируемом сечении в послеаварийном режиме после нормативного возмущения, МВт;

$P_{\text{д/ав}}(P_{\text{п/ав}})$ – переток активной мощности в контролируемом сечении в доаварийном режиме, соответствующий перетоку активной мощности в контролируемом сечении в послеаварийном режиме после нормативного возмущения, МВт;

$\Delta P_{ПА}$ – приращение допустимого перетока активной мощности в контролируемом сечении за счет реализации управляющих воздействий от устройств и комплексов противоаварийной автоматики, МВт.

В свою очередь, величина перетока активной мощности в контролируемом сечении в послеаварийном режиме после возмущения ($P_{\text{п/ав}}$), относительно которой вычисляется переток активной мощности в контролируемом сечении в доаварийном режиме ($P_{\text{д/ав}}$) определяется по формуле:

$$P_{\text{п/ав}} = (1 - K_{\text{зап СУ п/ав}}) \cdot P_{\text{п/ав пред}} \qquad (8)$$

где $K_{\text{зап СУ п/ав}}$ – нормативный (8%) коэффициент запаса статической устойчивости по активной мощности в послеаварийном режиме;

$P_{\text{п/ав пред}}$ – предельный по статической устойчивости переток активной мощности в контролируемом сечении в послеаварийном режиме после нормативного возмущения, МВт.

3.4 Определение допустимого перетока по критерию обеспечения нормативного запаса статической устойчивости по напряжению в послеаварийных режимах

Переток активной мощности в доаварийном режиме должен быть таким, чтобы во всех послеаварийных режимах обеспечивался нормативный (10%) коэффициент запаса статической устойчивости напряжению для послеаварийного режима. Величина этого перетока определяется по формуле [12]:

$$P_{\text{доп U п/ав}} = P_{\text{д/ав}}(U_{\text{доп п/ав}}) - P_{HO} + \Delta P_{ПА} \quad (9)$$

где $P_{\text{доп U п/ав}}$ – допустимый переток активной мощности по критерию обеспечения нормативного коэффициента запаса статической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки в контролируемом сечении в послеаварийном режиме, МВт;

$P_{\text{д/ав}}$ – переток активной мощности в контролируемом сечении в доаварийном режиме, МВт;

$U_{\text{доп п/ав}}$ – допустимое напряжение в узле нагрузки в послеаварийном режиме, кВ;

$P_{\text{д/ав}}\left(U_{\text{доп п/ав}}\right)$ – переток активной мощности в контролируемом сечении в доаварийном режиме, соответствующий допустимому напряжению в контролируемых узлах в послеаварийных режимах после нормативных возмущений, МВт.

Величина допустимого напряжения в послеаварийном режиме определяется по формуле:

$$U_{\text{доп п/ав}} = \frac{U_{\text{кр}}}{1 - K_{\text{зап U п/ав}}} \quad (10)$$

где $K_{\text{зап U п/ав}}$ – нормативный коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению в узле нагрузки в послеаварийном режиме.

3.5 Определение допустимого перетока по критерию обеспечения допустимой токовой нагрузки оборудования в нормальной схеме и в послеаварийных режимах

Переток активной мощности по контролируемому сечению должен быть таким, чтобы в нормальном и во всех послеаварийных режимах отсутствовала токовая перегрузка оборудования. Величина этого перетока определяется в соответствии с формулой [12]:

$$P_{\text{доп I п/ав}} = P_{\text{д/ав}}(I_{\text{доп п/ав}}) - P_{HO} + \Delta P_{ПА} \quad (11)$$

где $P_{\text{доп } I \text{ п/ав}}$ – допустимый переток активной мощности по критерию обеспечения допустимой токовой нагрузки линий электропередачи и электросетевого оборудования в послеаварийных режимах после нормативных возмущений, МВт;

$P_{\text{д/ав}}$ – переток активной мощности в контролируемом сечении в доаварийном режиме, МВт;

$I_{\text{доп п/ав}}$ – допустимая токовая нагрузка линий электропередачи и электросетевого оборудования в послеаварийном режиме, А;

$P_{\text{д/ав}}\left(I_{\text{доп п/ав}}\right)$ – переток активной мощности в контролируемом сечении в доаварийном режиме, соответствующий допустимой токовой нагрузке линий электропередачи и электросетевого оборудования в послеаварийных режимах после нормативных возмущений, МВт.

Величина допустимой токовой нагрузки линий электропередачи и электросетевого оборудования в послеаварийном режиме ($I_{\text{доп п/ав}}$) принимается с учетом перегрузки, разрешенной в течение 20 минут.

3.6 Определение максимально допустимого перетока активной мощности в контролируемом сечении

Для определения максимально допустимого перетока активной мощности в контролируемом сечении необходимо выполнить расчеты для каждого из критериев определения максимально допустимого перетока активной мощности, описанных в п. 3.1. – 3.5.

Максимально допустимым перетоком активной мощности в контролируемом сечении является минимальное значение допустимого перетока активной мощности из величин, определенных по каждому из критериев, указанных в п. 3.1. – 3.5.

4 НАСТРОЙКА АВТОМАТИКИ РАЗГРУЗКИ ПРИ РАЗРЫВЕ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 500 КВ

Как было сказано выше целью данной работы является настройка устройства, выполняющего функции автоматики разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ, связывающей Томскую энергосистему с Кузбасской и Красноярской. Под настройкой необходимо понимать расчет объема разгрузки линий электропередачи для обеспечения статической устойчивости в послеаварийном режиме и уставок срабатывания устройства предшествующего режима (КПР).

Мощность разгрузки $P_{\text{разг}}$, которую должна обеспечить противоаварийная автоматика, определяется по разности максимально допустимых перетоков активной мощности в до- и послеаварийном режимах [13]:

$$\Delta P^{\max}_{\text{разг}} = K_U (P_{доп\ СУ} - P_{доп\ СУ\ п/ав}) \qquad (12)$$

где K_U – коэффициент, учитывающий возможность повышения передаваемой мощности в сечении электропередачи при повышенных значениях напряжения, равен 1–1,5.

Необходимо обеспечить универсальность настройки: уставки КПР и объем разгрузки должны отвечать, как нормальной, так и всей совокупности ремонтных схем (за исключением тех, для которых предусматриваются специальные ремонтные ступени автоматики). Как правило при отключении контролируемой линии в ремонтной схеме требуется больший объем разгрузки, чем в нормальной. Это следует из эквивалентной схемы электропередачи, имеющей несколько шунтирующих друг друга связей. Максимальный объем разгрузки определяется для той ремонтной схемы (из числа учитываемых), где отключение контролируемой линии приводит к наибольшему абсолютному снижению суммарного предела передаваемой мощности в сечении.

При измерении суммарного перетока активной мощности в сечении исключается неблагоприятное влияние на настройку автоматики перераспределе-

ния нагрузок линий электропередачи, входящих в сечение. Уровень предшествующего перетока в сечении (начальная уставка органа КПР), начиная с которого автоматика вводится в работу, определяется по выражению:

$$P^{\text{нач}}{}_{\text{КПР}\Sigma} = \frac{(P^{\text{с}}{}_{\text{пр}} - \Delta P_{HO})}{1{,}08 \cdot K_{Ч} \cdot K} K_U \qquad (13)$$

Где $P^{\text{с}}{}_{\text{пр}}$ принимается для той же ремонтной схемы, для которой определяется $\Delta P^{\max}{}_{\text{разг}}$;

K_U – коэффициент, учитывающий возможность снижения значения напряжения, равен 0,9–1;

$K_Ч$ – коэффициент чувствительности автоматики, равен 1,08–1,18;

K – коэффициент учитывающий относительную погрешность измерительных реле мощности и трансформаторов тока и напряжения, равен 1,05–1,12.

Начальная уставка КПР по перетоку мощности в контролируемой линии определяется по следующему выражению:

$$P^{\text{нач}}{}_{\text{КПР}Л} = \frac{(P^{\text{с}}{}_{\text{пр}} - \Delta P_{HO})}{1{,}08 \cdot K_{Ч} \cdot K} K_U \cdot K^{\text{д/а}}{}_{\text{расп}} \qquad (14)$$

где $K^{\text{д/а}}{}_{\text{расп}}$ – коэффициент распределения, характеризующий долю суммарного перетока мощности сечения P_{Σ}, приходящуюся на контролируемую линию, $K^{\text{д/а}}{}_{\text{расп}} = \frac{P_{Л}}{P_{\Sigma}}$.

Объемы разгрузок при перетоках в сечениях и в линии, превышающих начальные уставки КПР, соответственно

$$\Delta P_{\text{разгр}} = P_{\Sigma} - P^{\text{нач}}{}_{\text{КПР}\Sigma} \qquad (15)$$

$$\Delta P_{\text{разгр}} = \frac{P_{\Sigma} - P^{\text{нач}}{}_{\text{КПР}\Sigma}}{K^{\text{д/а}}{}_{\text{расп}}} \qquad (16)$$

Производим моделирование Томской энергосистемы в программном моделирующем комплексе «RastrWIN», результаты представлены в приложении Б. В качестве балансирующих по активной и реактивной мощности были приняты узлы: узел 1 – ПС Итатская; узел 2 – ПС «Ново-Анжерская» 500 кВ и узел 7 – «Ново-Анжерская» 220 кВ, в виду того что покрывающий дефицит собственной генерации Томской энергосистемы переток активной мощности поступает от данных подстанций. Данная схема была разделена на два района собственно район Томской энергосистемы и район внешней генерации (все балансирующие узлы) для упрощения проведения утяжеления исходного режима, особенности проведения которого будут представлены ниже.

Утяжеление рассматриваемого режима осуществляется с помощью функции «Утяжеление» ПК RastrWin следующим образом. На каждом шаге утяжеления суммарная активная нагрузка района Томской энергосистемы увеличивается на некоторую величину (при этом увеличивается также и реактивная мощность таким образом, чтобы коэффициент мощности в каждом узле оставался неизменным). Увеличение текущей нагрузки выполняется равномерно в соответствии с долей нагрузки узлов в суммарной мощности потребления. Таким образом, обеспечивается равномерное изменение мощности нагрузки в узлах утяжеления [10].

Рассчитываемая автоматика должна обеспечивать не превышение максимально допустимого перетока активной мощности по контролируемому сечению для любой из возможных схем функционирования Томской энергосистемы. Ввод автоматики разгрузки происходит при отключении двух линий электропередачи 500 кВ поэтому для утяжеления используем следующие схемы: 1) ремонт ВЛ 220 кВ Ново-Анжерская – Восточная с последующим аварийным отключением электропередачи 500 кВ; 2) ремонт ВЛ 500 кВ Ново-Анжерская – Томская с последующим аварийным отключением ВЛ 500 кВ Итатская – Томская; 3) ремонт ВЛ 220 кВ Ново-Анжерская – Зональная с последующим аварийным отключением электропередачи 500 кВ. Определение МДП производим с учетом статических характеристик нагрузки, коэффициенты которых заданы в главе 2, и нагрузкой заданной постоянной мощностью по активной и реактивной мощностям.

Перед утяжелением производим расчеты критического и допустимого напряжения по выражениям (5) и (6):

$$U_{кр} = 0{,}7 \cdot U_{ном} = 0{,}7 \cdot 220 = 154, \text{ кВ}$$

$$U_{кр} = 0{,}7 \cdot U_{ном} = 0{,}7 \cdot 110 = 77, \text{ кВ}$$

$$U_{доп} = \frac{U_{кр}}{1 - K_{зап}} = \frac{U_{кр}}{0{,}85} = \frac{154}{0{,}85} = 181{,}176, \text{ кВ}$$

$$U_{доп} = \frac{U_{кр}}{1 - K_{зап}} = \frac{U_{кр}}{0{,}85} = \frac{77}{0{,}85} = 90{,}588, \text{ кВ}$$

4.1 Определение максимально допустимого перетока по критерию обеспечения нормативного запаса статической устойчивости по напряжению

4.1.1 Ремонт ВЛ 220 кВ Ново-Анжерская – Восточная с последующим аварийным отключением электропередачи 500 кВ

4.1.1.1 Для нагрузки, заданной постоянной мощностью по активной и реактивной мощностям

В нормальном режиме сети переток активной мощности по сечению равен 359 МВт. Пошаговое увеличение нагрузки приводит к тому, что при перетоке активной мощности через сечение равном 1189 МВт напряжение на ПС «Восточная» достигает минимально допустимого в нормальном режиме значения.

Производим утяжеление для схемы с аварийно отключившийся электропередачей 500 кВ. Предельный переток по сечению составляет 596 МВт, ограничение – аварийно допустимое значение напряжения на ПС «Восточная». Производим переход к нормальной схеме и рассчитываема установившийся режим значение перетока мощности по сечению составило 574 МВт. По ЛЭП Итатская – Томская и Ново-Анжерская – Томская суммарное значение мощности на стороне ПС «Томская» равняется 466, МВт.

4.1.1.2 Для нагрузки, заданной обобщенной СХН

В нормальном режиме сети переток активной мощности по сечению равен 364 МВт. Пошаговое увеличение нагрузки приводит к тому, что при перетоке

активной мощности через сечение равном 1257 МВт напряжение на ПС «Восточная» достигает минимально допустимого в нормальном режиме значения.

Производим утяжеление для схемы с аварийно отключившийся электропередачей 500 кВ. Предельный переток по сечению составляет 631 МВт, ограничение – минимально допустимое значение напряжения на ПС «Восточная». Производим переход к нормальной схеме и рассчитываема установившийся режим значение перетока мощности по сечению составило 653 МВт. По ЛЭП Итатская – Томская и Ново-Анжерская – Томская суммарное значение мощности на стороне ПС «Томская» равняется 519, МВт.

4.1.1.3 Для нагрузки, заданной СХН с сильной зависимостью от напряжения

В нормальном режиме сети переток активной мощности по сечению равен 365 МВт. Пошаговое увеличение нагрузки приводит к тому, что при перетоке активной мощности через сечение равном 1078 МВт напряжение на ПС «Восточная» достигает минимально допустимого в нормальном режиме значения.

Производим утяжеление для схемы с аварийно отключившийся электропередачей 500 кВ. Предельный переток по сечению составляет 452 МВт, ограничение – минимально допустимое значение напряжения на ПС «Восточная». Производим переход к нормальной схеме и рассчитываема установившийся режим значение перетока мощности по сечению составило 512 МВт. По ЛЭП Итатская – Томская и Ново-Анжерская – Томская суммарное значение мощности на стороне ПС «Томская» равняется 415, МВт.

4.1.1.4 Для нагрузки, заданной СХН с слабой зависимостью от напряжения

В нормальном режиме сети переток активной мощности по сечению равен 361 МВт. Пошаговое увеличение нагрузки приводит к тому, что при перетоке активной мощности через сечение равном 1254 МВт напряжение на ПС «Восточная» достигает минимально допустимого в нормальном режиме значения.

Производим утяжеление для схемы с аварийно отключившийся электропередачей 500 кВ. Предельный переток по сечению составляет 626 МВт, ограничение – минимально допустимое значение напряжения на ПС «Восточная». Производим переход к нормальной схеме и рассчитываема установившийся режим значение перетока мощности по сечению составило 625 МВт. По ЛЭП Итатская – Томская и Ново-Анжерская – Томская суммарное значение мощности на стороне ПС «Томская» равняется 499, МВт.

4.1.1.5 Постоянный шунт по активной и реактивной мощностям

В нормальном режиме сети переток активной мощности по сечению равен 372 МВт. Пошаговое увеличение нагрузки приводит к тому, что при перетоке активной мощности через сечение равном 1277 МВт напряжение на ПС «Восточная» достигает минимально допустимого в нормальном режиме значения.

Производим утяжеление для схемы с аварийно отключившийся электропередачей 500 кВ. Предельный переток по сечению составляет 654 МВт, ограничение – минимально допустимое значение напряжения на ПС «Восточная». Производим переход к нормальной схеме и рассчитываема установившийся режим значение перетока мощности по сечению составило 780 МВт. По ЛЭП Итатская – Томская и Ново-Анжерская – Томская суммарное значение мощности на стороне ПС «Томская» равняется 608, МВт.

Расчет для других вариантов схем описываться не будет, а будут приведены конечные значения в таблице 2.

4.2 Определение максимально допустимого перетока по критерию обеспечения допустимой токовой нагрузки оборудования

4.2.1 Ремонт ВЛ 220 кВ Ново-Анжерская – Восточная с последующим аварийным отключением электропередачи 500 кВ

4.2.1.1 Для нагрузки, заданной постоянной мощностью по активной и реактивной мощностям

В нормальном режиме сети переток активной мощности по сечению равен 359 МВт. Пошаговое увеличение нагрузки приводит к тому, что при перетоке

активной мощности через сечение равном 1305 МВт токовая загрузка автотрансформаторов ПС «Томская» достигает максимально допустимого в нормальном режиме значения.

Производим утяжеление для схемы с аварийно отключившийся электропередачей 500 кВ. Предельный переток по сечению составляет 409 МВт, ограничение – токовая загрузка линии «Ново-Анжерская – Зональная». Производим переход к нормальной схеме и рассчитываема установившийся режим значение перетока мощности по сечению составило 400 МВт. По ЛЭП Итатская – Томская и Ново-Анжерская – Томская суммарное значение мощности на стороне ПС «Томская» равняется 337, МВт.

4.2.1.2 Для нагрузки, заданной обобщенной СХН

В нормальном режиме сети переток активной мощности по сечению равен 364 МВт. Пошаговое увеличение нагрузки приводит к тому, что при перетоке активной мощности через сечение равном 1569 МВт токовая загрузка автотрансформаторов ПС «Томская» достигает максимально допустимого в нормальном режиме значения.

Производим утяжеление для схемы с аварийно отключившийся электропередачей 500 кВ. Предельный переток по сечению составляет 415 МВт, ограничение – токовая загрузка линии «Ново-Анжерская – Зональная». Производим переход к нормальной схеме и рассчитываема установившийся режим значение перетока мощности по сечению составило 428 МВт. По ЛЭП Итатская – Томская и Ново-Анжерская – Томская суммарное значение мощности на стороне ПС «Томская» равняется 355, МВт.

4.2.1.3 Для нагрузки, заданной СХН с сильной зависимостью от напряжения

В нормальном режиме сети переток активной мощности по сечению равен 365 МВт. Пошаговое увеличение нагрузки приводит к тому, что при перетоке активной мощности через сечение равном 1282 МВт токовая загрузка автотрансформаторов ПС «Томская» достигает максимально допустимого в нормальном режиме значения.

Производим утяжеление для схемы с аварийно отключившийся электропередачей 500 кВ. Предельный переток по сечению составляет 407 МВт, ограничение – минимально допустимое значение напряжения на ПС «Восточная». Производим переход к нормальной схеме и рассчитываема установившийся режим значение перетока мощности по сечению составило 454 МВт. По ЛЭП Итатская – Томская и Ново-Анжерская – Томская суммарное значение мощности на стороне ПС «Томская» равняется 373, МВт.

4.2.1.4 Для нагрузки, заданной СХН с слабой зависимостью от напряжения

В нормальном режиме сети переток активной мощности по сечению равен 361 МВт. Пошаговое увеличение нагрузки приводит к тому, что при перетоке активной мощности через сечение равном 1329 МВт токовая загрузка автотрансформаторов ПС «Томская» достигает максимально допустимого в нормальном режиме значения.

Производим утяжеление для схемы с аварийно отключившийся электропередачей 500 кВ. Предельный переток по сечению составляет 415 МВт, ограничение – минимально допустимое значение напряжения на ПС «Восточная». Производим переход к нормальной схеме и рассчитываема установившийся режим значение перетока мощности по сечению составило 416 МВт. По ЛЭП Итатская – Томская и Ново-Анжерская – Томская суммарное значение мощности на стороне ПС «Томская» равняется 347, МВт.

4.2.1.5 Постоянный шунт по активной и реактивной мощностям

В нормальном режиме сети переток активной мощности по сечению равен 373 МВт. Пошаговое увеличение нагрузки приводит к тому, что при перетоке активной мощности через сечение равном 1339 МВт токовая загрузка автотрансформаторов ПС «Томская» достигает максимально допустимого в нормальном режиме значения.

Производим утяжеление для схемы с аварийно отключившийся электропередачей 500 кВ. Предельный переток по сечению составляет 417 МВт, ограниче-

ние – минимально допустимое значение напряжения на ПС «Восточная». Производим переход к нормальной схеме и рассчитываема установившийся режим значение перетока мощности по сечению составило 472 МВт. По ЛЭП Итатская – Томская и Ново-Анжерская – Томская суммарное значение мощности на стороне ПС «Томская» равняется 384, МВт.

Для остальных схем будут представлены только конечные результаты в таблице 2:

Таблица 2 – Допустимые перетоки активной мощности

	Ремонт ВЛ 220 кВ «Ново-Анжерская – Восточная»		Ремонт ВЛ 500 кВ Ново-Анжерская – Томская		Ремонт ВЛ 220 кВ «Ново-Анжерская – Зональная»	
	P_{donU}, МВт	P_{donI}, МВт	P_{donU}, МВт	P_{donI}, МВт	P_{donU}, МВт	P_{donI}, МВт
Постоянная мощность по активной и реактивной мощностям	574	**400**	821	737	574	409
Обобщенная СХН	653	**428**	919	778	656	437
СХН с сильной зависимостью от напряжения	512	**454**	744	824	518	466
СХН с слабой зависимостью от напряжения	625	**416**	886	764	628	425
Постоянный шунт по активной и реактивной мощностям	780	**472**	1050	862	781	481

Как видно по данным таблицы 2 значение максимально допустимого перетока активной мощности напрямую зависит от модели представления нагрузки. Максимальный переток мощности по условиям обеспечения устойчивости по напряжению равняется 1050 МВт для нагрузки, представленной постоянным шунтом, а минимальный – 744 МВт для нагрузки, представленной СХН с сильной зависимостью от напряжения; по условиям обеспечения допустимой токовой загрузки максимальный переток 862, МВт для нагрузки, представленной постоянным шунтом, а минимальный – 737, МВт для нагрузки, представленной постоянной мощностью.

Далее производим расчет уставок срабатывания устройства контроля предшествующего режима, необходимых для функционирования автоматики разгрузки.

4.3 Расчет уставок срабатывания устройства контроля предшествующего режима

Для расчета уставок используем минимальный из полученных перетоков мощности для каждой модели нагрузки.

4.3.1 Постоянная мощность по активной и реактивной мощностям

Производим расчет начальной уставки КПР по выражению (13):

$$P^{\text{нач}}_{\text{КПР}\Sigma} = \frac{P^{\text{с}}_{\text{пр}}}{1{,}08 \cdot K_{\text{Ч}} \cdot K} K_U = \frac{400}{1{,}08 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}05} \cdot 1 = 326{,}605, \text{ МВт}$$

Следовательно, для того чтобы не допустить превышение предельного перетока активной мощности по сечению необходимо установить уставку автоматику равной по мощности 326,605 МВт. При данной уставке срабатывания автоматики производиться отключение первой ступени нагрузки (100 МВт). Поэтому предельный переток мощности увеличивается до величины 500 МВт.

Определяем уставку срабатывания для второй ступени:

$$P^{\text{нач}}_{\text{КПР}\Sigma} = \frac{P^{\text{с}}_{\text{пр}}}{1{,}08 \cdot K_{\text{Ч}} \cdot K} K_U = \frac{500}{1{,}08 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}05} \cdot 1 = 408{,}257, \text{ МВт}$$

Вторая ступень сработает при перетоке активной мощности по электропередаче 500 кВ, равном 408.257, МВт и отключит дополнительно 100 МВт.

4.3.2 Обобщенная СХН

Производим расчет начальной уставки КПР по выражению (13):

$$P^{\text{нач}}_{\text{КПР}\Sigma} = \frac{P^{\text{с}}_{\text{пр}}}{1{,}08 \cdot K_{\text{Ч}} \cdot K} K_U = \frac{428}{1{,}08 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}05} \cdot 1 = 349{,}47, \text{ МВт}$$

Следовательно, для того чтобы не допустить превышение предельного перетока активной мощности по сечению необходимо установить уставку автома-

тику равной по мощности 329,87 МВт. При данной уставке срабатывания автоматики производиться отключение первой ступени нагрузки (100 МВт). Поэтому предельный переток мощности увеличивается до величины 504 МВт.

Определяем уставку срабатывания для второй ступени:

$$P^{\text{нач}}{}_{\text{КПР}\Sigma} = \frac{P^{\text{с}}{}_{\text{пр}}}{1{,}08 \cdot K_{\text{ч}} \cdot K} K_U = \frac{528}{1{,}08 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}05} \cdot 1 = 431{,}12,\ \text{МВт}$$

Вторая ступень сработает при перетоке активной мощности по электропередаче 500 кВ, равном 411,52, МВт и отключит дополнительно 100 МВт.

4.3.3 СХН с сильной зависимостью от напряжения

Производим расчет начальной уставки КПР по выражению (13):

$$P^{\text{нач}}{}_{\text{КПР}\Sigma} = \frac{P^{\text{с}}{}_{\text{пр}}}{1{,}08 \cdot K_{\text{ч}} \cdot K} K_U = \frac{454}{1{,}08 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}05} \cdot 1 = 370{,}697, \text{МВт}$$

Следовательно, для того чтобы не допустить превышение предельного перетока активной мощности по сечению необходимо установить уставку автоматику равной по мощности 370,697 МВт. При данной уставке срабатывания автоматики производиться отключение первой ступени нагрузки (100 МВт). Поэтому предельный переток мощности увеличивается до величины 554 МВт.

Определяем уставку срабатывания для второй ступени:

$$P^{\text{нач}}{}_{\text{КПР}\Sigma} = \frac{P^{\text{с}}{}_{\text{пр}}}{1{,}08 \cdot K_{\text{ч}} \cdot K} K_U = \frac{554}{1{,}08 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}05} \cdot 1 = 452{,}348\ \text{МВт}$$

Вторая ступень сработает при перетоке активной мощности по электропередаче 500 кВ, равном 452,348, МВт и отключит дополнительно 100 МВт.

4.3.4 СХН с слабой зависимостью от напряжения

Производим расчет начальной уставки КПР по выражению (13):

$$P^{\text{нач}}{}_{\text{КПР}\Sigma} = \frac{P^{\text{с}}{}_{\text{пр}}}{1{,}08 \cdot K_{\text{ч}} \cdot K} K_U = \frac{416}{1{,}08 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}05} \cdot 1 = 339{,}669, \text{МВт}$$

Следовательно, для того чтобы не допустить превышение предельного перетока активной мощности по сечению необходимо установить уставку автоматику равной по мощности 339,669МВт. При данной уставке срабатывания автоматики производиться отключение первой ступени нагрузки (100 МВт). Поэтому предельный переток мощности увеличивается до величины 516 МВт.

Определяем уставку срабатывания для второй ступени:

$$P^{\text{нач}}{}_{\text{КПР}\Sigma} = \frac{P^{\text{с}}{}_{\text{пр}}}{1{,}08 \cdot K_{\text{Ч}} \cdot K} K_U = \frac{516}{1{,}08 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}05} \cdot 1 = 421{,}321, \text{ МВт}$$

Вторая ступень сработает при перетоке активной мощности по электропередаче 500 кВ, равном 421,324, МВт и отключит дополнительно 100 МВт.

4.3.5 Постоянный шунт по активной и реактивной мощностям

Производим расчет начальной уставки КПР по выражению (13):

$$P^{\text{нач}}{}_{\text{КПР}\Sigma} = \frac{P^{\text{с}}{}_{\text{пр}}}{1{,}08 \cdot K_{\text{Ч}} \cdot K} K_U = \frac{472}{1{,}08 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}05} \cdot 1 = 385{,}394, \text{ МВт}$$

Следовательно, для того чтобы не допустить превышение предельного перетока активной мощности по сечению необходимо установить уставку автоматику равной по мощности 385,394МВт. При данной уставке срабатывания автоматики производиться отключение первой ступени нагрузки (100 МВт). Поэтому предельный переток мощности увеличивается до величины 572 МВт.

Определяем уставку срабатывания для второй ступени:

$$P^{\text{нач}}{}_{\text{КПР}\Sigma} = \frac{P^{\text{с}}{}_{\text{пр}}}{1{,}08 \cdot K_{\text{Ч}} \cdot K} K_U = \frac{572}{1{,}08 \cdot 1{,}08 \cdot 1{,}05} \cdot 1 = 467{,}046, \text{ МВт}$$

Вторая ступень сработает при перетоке активной мощности по электропередаче 500 кВ, равном 467,046, МВт и отключит дополнительно 100 МВт.

В таблице 3 сведены значения уставок срабатывания для каждой из моделей нагрузки:

Таблица 3 – Уставки срабатывания УКПР

Ступень	Постоянная мощность по активной и реактивной мощностям	Обобщенная СХН	СХН с сильной зависимостью от напряжения	СХН с слабой зависимостью от напряжения	Постоянный шунт по активной и реактивной мощностям
	$P^{\text{нач}}_{\text{КПР}\sum}$ МВт	$P^{\text{нач}}_{\text{КПР}\sum}$ МВт	$P^{\text{нач}}_{\text{КПР}\sum}$ МВт	$P^{\text{нач}}_{\text{КПР}\sum}$ МВт	$P^{\text{нач}}_{\text{КПР}\sum}$ МВт
1	326,605	349,47	370,697	339,669	385,394
2	408,257	431,12	452,348	421,321	467,046

Полученные уставки срабатывания устройства контроля предшествующего режима лежат на интервалах: первая ступень: 327 – 385, МВт; вторая ступень: 408 – 467 МВт. Граничные значения получены для нагрузки представленной постоянной мощностью и шунтом соответственно. Как и в случае с максимально допустимым перетоком значения уставок напрямую зависят от модели представления нагрузки, если взять среднее значение по каждому интервалу, то максимально достоверна из исследованных – модель представления нагрузки с помощью обобщенной СХН. Рассчитаем отклонение граничных значений уставок от обобщенной СХН:

Первая ступень

$$\varepsilon\% = \frac{349{,}47 - 326{,}605}{349{,}47} = 6{,}5\%$$

$$\varepsilon\% = \frac{349{,}47 - 385{,}394}{349{,}47} = 10{,}3\%$$

Вторая ступень

$$\varepsilon\% = \frac{431{,}12 - 408{,}257}{431{,}12} = 5{,}3\%$$

$$\varepsilon\% = \frac{431{,}12 - 467{,}046}{431{,}12} = 8{,}3\%$$

Полученные значения погрешностей превышают допустимую пятипроцентную погрешность для инженерных расчетов.

В итоге можно сделать вывод, что для получения достоверных значений перетоков активной мощности необходимо использовать статические характеристики нагрузки. В идеале необходимо получить СХН для каждого узла нагрузки, но в виду того, что процесс получения статических характеристик нагрузки трудоемок и требует больших затрат, можно воспользоваться обобщёнными характеристиками нагрузки.

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Финансовое поведение, возможно, является центральным моментом развития и результативности фирмы.
Д. Хэй, Д. Моррис

На современном этапе возможность повсеместного внедрения научного исследования зависит не только от дополнительных возможностей, которые предоставляет данное открытие и которые достаточное проблематично оценить на первых этапах жизненного цикла, но в большей степени определится коммерческой привлекательностью для целевой аудитории, новыми перспективами в области ресурсосбережения и ресурсоэффективности.

В основе данной бакалаврской работы лежит настройка автоматики разгрузки при разрыве электропередачи с использованием статических характеристик нагрузки (СХН) при разрыве электропередачи 500 кВ с Томской энергосистемой. В данном контексте под настройкой следует понимать выбор уставок срабатывания устройства контроля предшествующего режима (КПР) и объем отключаемой активной мощности потребителей, разнесенной на 2 ступени равного объема. Согласно основной части выпускной работы данная автоматика разгрузки функционирует на ПС «Томская» 500 кВ. Но в настоящий момент расчет уставок был проведен без учета статических характеристик нагрузки. Применение статических характеристик нагрузки позволяет более точно оценивать нагрузку потребителей и, следовательно, иметь наиболее точные расчеты режима энергосистемы, такие как перетоки мощности по линиям электропередачи; потребляемые нагрузкой величины активной и реактивной мощностей и т.д., для позволяет оптимально использовать имеющиеся в распоряжении ресурсы, а применительно к данной теме позволит наиболее точно рассчитать уставки срабатывания автоматики, что позволит сохранить электроснабжение потребителей и, следовательно, воспрепятствовать появлению экономического убытка. Также

использование СХН позволит увеличить предел передаваемой активной мощности, что в своею очередь увеличит величину транзита электроэнергии и принесет дополнительный доход.

В качестве экономических цели можно использовать ответ на вопрос: целесообразно ли использование СХН для настройки автоматики?

Для ответа на данный вопрос необходимо выполнить ряд задач:

– Оценить коммерческий потенциал внедрения данной методики;
– Произвести планирование научно-исследовательской работы;
– Произвести расчет бюджета научно-исследовательской работы.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

Для оценки будет использоваться два метода: морфологический метод и анализ конкурентных технических решений. С помощью морфологического метода будут выделены основные направления и методы обеспечения функционирования данной автоматики и далее будет произведен анализ наиболее целесообразный технологий.

5.1.1 Морфологический метод

В основе данного метода лежит систематическое исследование всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования [14].

В качестве проблемы данного исследования предлагается принять функциональное исполнение данной автоматики, т.е. выбор типа измерительных преобразователей; выбор типа выходного сигнала; использование различных моделей представления нагрузки и выбор типа исполнения противоаварийной автоматики (ПА).

Морфологическими характеристиками объекта исследования являются преобразование силового сигнала через измерительные преобразователи до необходимого значения, позволяющего применение измерительного органа, а также выполнение логических операций, позволяющих данной автоматики функционировать.

Составляем морфологическая матрицу, которая представлена в таблице 4:

Таблица 4 – Морфологическая матрица

	1	2	3	4
А. Тип ИП	Оптические	Аналоговые	Аналоговые с ЦАП	–
Б. Тип выходного сигнала	Цифровой	Аналоговый	–	–
В. Тип исполнения ПА	Электромеханическая	Микропроцессорная	Цифровая	–
Г. Модель представления нагрузки	Постоянной мощностью	СХН	Постоянным сопротивлением	Постоянным током

Используя данную матрицу формируем варианты технологического исполнения:

1. Использование аналоговых трансформаторов тока и напряжения; электромеханическое исполнения элементной базы противоаварийной автоматики и модель нагрузки – постоянная мощность.

Данный вариант используется в настоящее время на ПС «Томская».

2. Использование оптических трансформаторов тока и напряжения; микропроцессорной элементной базы противоаварийной автоматики и модель нагрузки – СХН.

Данный вариант является наиболее перспективным, т.к. совмещает в себе все современные направления развития электроэнергетики.

3. Использование аналоговых трансформаторов тока и напряжения с ЦАП; микропроцессорная элементная база противоаварийной автоматики и модель нагрузки – СХН.

4. Использование аналоговых трансформаторов тока и напряжения; электромеханическое исполнения элементной базы противоаварийной автоматики и модель нагрузки – СХН.

В качестве решения в данной работе предлагается четвертый вариант в виду того, что целью работы не является разработка нового типа исполнения автоматики разгрузки, а настройка уже существующей с применением статических

характеристик нагрузки, но для данного раздела будет произведен анализ всех выделенных вариантов исполнения автоматики.

5.1.2 Анализ наиболее целесообразных технологий

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 5:

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		$Б_Ф$	$Б_{К1}$	$Б_{К2}$	$Б_{К3}$	$Б_Ф$	$Б_{К1}$	$Б_{К2}$	$Б_{К3}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Помехоустойчивость	0.1	2	2	5	4	0,2	0,2	0,5	0,4
Точность представления нагрузки	0,1	5	3	5	5	0,5	0,3	0,5	0,5
Цена	0,2	5	5	1	2	1	1	0,2	0,4
Необходимость переоборудования	0,2	5	5	1	2,5	1	1	0,2	0,5
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	1	1	5	5	0,1	0,1	0,5	0,5
Качество интеллектуального интерфейса	0,1	1	1	5	3	0,1	0,1	0,5	0,3
Надежность	0,1	3	2,5	5	4,5	0,3	0,25	0,5	0,45
Простота эксплуатации	0,1	5	5	1	2	0,5	0,5	0,1	0,2
Итого	1					3,7	3,45	3	3,25

Данный анализ предполагает определение конкурентоспособности. Для это используется следующее выражение:

$$К = \sum В_i \cdot Б_i \qquad (17)$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$В_i$ – вес отдельного показателя;

$Б_i$ – балл отдельного показателя.

В ходе проведения анализа конкурентных решений принятое в качестве основного показало наилучшую конкурентоспособность, это связано с тем, что применение статических характеристик нагрузки в данном техническом решении не требует больших капиталовложений по сравнению с полным переоборудованием подстанции, а также обеспечивается простота эксплуатации, не требующая обучения кадров.

Далее произведем SWOT-анализ решения обладающего наибольшей конкурентоспособностью, позволяющий выделить сильные, слабые стороны, возможности и угрозы, которые в комплексном рассмотрении позволят определить внешнюю и внутреннюю проекта.

5.2 SWOT-анализ

SWOT – это анализ комплексного характера, предназначенный для исследования внешней и внутренней среды научно-исследовательского проекта.

1. ***Сильные стороны***. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

2. ***Слабые стороны.*** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

3. ***Возможности***. Включают в себя любую ситуацию, которая может оказать благоприятное влияние в настоящем или будущем и возникающая в условиях окружающей среды проекта.

4. ***Угроза*** представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта. [14]

В рамках SWOT-анализа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа

Таблица 6 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Простота эксплуатации. С2. Экологичность технологии. С3. Повешение точности математической модели С4. Нет необходимости переоборудования С5. Высокий срок эксплуатации. С6. Надежность данной системы С7. Высокое качество продукции. С8. Затраты связаны только с получением СХН	**Слабые стороны научно-исследовательского проекта:** Сл1. Низкая интеллектуализация технического решения Сл2. Большой срок выхода на рынок Сл3. Необходимость получения СХН для каждого узла нагрузки Сл4. Слабый методологический механизм получения СХН Сл5. Низкая помехоустойчивость
Возможности: В1. Использование данной технологии предприятиями электроэнергетического комплекса В2. Повсеместное использование данной автоматики для поддержания устойчивости межсистемных связей В3. Получение методологии повсеместного получения СХН В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли	Сильные стороны данного технологического решения прекрасно вписываются в возможные перспективы, т.к. преимущества позволят расширить рынки сбыта и занять главенствующее положение среди конкурентов в виду того что на данный момент единые национальные электрические сети изношены на 48,5% и материальных возможностей для модернизации пока не имеется.	Проанализировав слабости с возможностями можно сделать вывод, что данные слабости не повлияют на процесс внедрения данного решения в виду того что в возможности заложены по большинству своем методы избавления от слабостей.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.	Сильные стороны позволят преодолеть угрозы в виду того что данное решение разрабатывается для определенной области энергетики, и оно будет иметь спрос в данном сегменте рынка.	Угрозы проекту практически не оказывают большого влияния на слабости, т.к. слабости связаны больше с технологией осуществления данного решения, а угрозы с реализацией данного проекта потребителям.

Анализируя полученную интерактивную матрицу проекта, видим, что преимущественны сильные стороны проекта. Поэтому нет необходимости в проведении стратегических изменений.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение план-графика, отражающего временные рамки научного исследования.

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

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в таблице 7:

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этапы	№	Наименование работ	Должность ответственного
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов и нормативных документов	Студент
Выбор направления исследований	3	Описание объекта модернизации	Студент
	4	Календарное планирование работ	Руководитель

Продолжение таблицы 7

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Работа со принципиальной схемой Томской энергосистемы	Студент
	6	Создание математической модели энергосистемы	Студент
	7	Определение опасных сечений энергосистемы и определение максимально допустимого перетока (МДП) мощности по линиям электропередачи без применения СХН	Студент
	8	Расчет уставок устройства контроля предшествующего режима (КПР)	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	9	Определение максимально допустимого перетока (МДП) мощности по линиям электропередачи с применением СХН	Студент
	10	Расчет уставок устройства контроля предшествующего режима (КПР)	Студент
	11	Моделирование нормативных возмущений и аварийных ситуаций для проверки функционирования автоматики	Студент
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Проведение ОВКР			
Разработка технической документации и проектирование	13	Технико-экономические расчеты	Студент
	14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Студент
	15	Составление пояснительной записки	Студент

5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Под трудоемкостью необходимо понимать показатель, который характеризует затраты живого труда, определяемые количеством рабочего времени, затраченного на выполнение какой-либо работы.

Определение средней трудоемкости t_{cpi} производиться по:

$$t_{\text{ср}i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (18)$$

где t_{cpi} – средняя трудоемкость отдельной работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимальная трудоемкость заданной отдельной работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимальная трудоемкость заданной отдельной работы, чел.-дн.

Зная значение средней трудоемкости необходимо определить продолжительность каждой работы $T_{\text{р}}$, которая должна учитывать возможность параллельного выполнения работ разными исполнителями

$$T_{\text{р}i} = \frac{t_{\text{ср}i}}{\text{Ч}_i} \quad (19)$$

где $T_{\text{р}i}$ – продолжительность одной работы, раб. дн.;

t_{cpi} – средняя трудоемкость одной работы, чел.-дн.

Ч_i – кол-во исполнителей, выполняющих одновременно одну работу на данном этапе, чел.

5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{\text{к}i} = T_{\text{р}i} \cdot k_{\text{кал}} \quad (20)$$

где $T_{\text{к}i}$– продолжительность отдельной работы в календарных днях;

$T_{\text{р}i}$ – продолжительность выполнения отдельной работы в раб. дн.;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (21)$$

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

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

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

Все рассчитанные значения сводим в таблицу 5.

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \; чел - дней;$$

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч} = \frac{2}{1} = 2 \; дня;$$

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{366}{366 - 119} = 1,481781;$$

$$T_к = T_p \cdot k_{кал} = 2 \cdot 1,481781 = 2,96356 \approx 3 \; дня.$$

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работ	Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{\text{р}i}$		Длительность работ в календарных днях $T_{\text{к}i}$	
		t_{min}, чел-дни		t_{max}, чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни					
		Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
1	Составление и утверждение технического задания	1	–	2	–	2	–	2	–	3	–
2	Подбор и изучение материалов и нормативных документов	–	5	–	6	–	6	–	6	–	9
3	Описание объекта модернизации	–	3	–	4	–	4	–	4	–	6
4	Календарное планирование работ	3	–	5	–	4	–	4	–	6	–
5	Работа со принципиальной схемой Томской энергосистемы	–	4	–	6	–	5	–	5	–	8
6	Создание математической модели энергосистемы	–	4	–	6	–	5	–	5	–	8

Продолжение таблицы 8

7	Определение опасных сечений энергосистемы и определение максимально допустимого перетока (МДП) мощности по линиям электропередачи без применения СХН	–	4	–	6	–	5	–	5	–	8
8	Расчет уставок устройства контроля предшествующего режима (КПР)	–	2	–	3	–	3	–	3	–	5
9	Определение максимально допустимого перетока (МДП) мощности по линиям электропередачи с применением СХН	–	4	–	6	–	5	–	5	–	8
10	Расчет уставок устройства контроля предшествующего режима (КПР)	–	2	–	3	–	3	–	3	–	5
11	Моделирование нормативных возмущений и аварийных ситуаций для проверки функционирования автоматики	–	3	–	5	–	4	–	4	–	6
12	Оценка эффективности полученных результатов	3	–	7	–	5	–	5	–	8	–
13	Технико-экономические расчеты	–	2	–	3	–	3	–	3	–	5
14	Вопросы безопасности и эко-логичности проекта	–	2	–	3	–	3	–	3	–	5
15	Составление пояснительной записки	–	1	–	3	–	2	–	2	–	3
ИТОГО	Общее количество календарных дней для выполнения выпускной работы									93	
	Общее количество календарных дней в течении которых работал студент									76	
	Общее количество календарных дней в течении которых работал руководитель									17	

На основании таблицы 8 строим календарный план-график, представленный в приложении Б.

Согласно построенному календарному плану графику видно, что выпускная работа будет выполнена за две недели до защиты, что является хорошим результатом.

5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Производя разработку бюджета научно-технического исследования необходимо обеспечивать отражение всех типов расходов, которые связанны с его

выполнением, с необходимой полнотой и достоверностью. В процессе разработки бюджета НТИ будут использованы следующие типы затрат по статьям:

– затраты на специальное оборудование для научных работ;
– основная заработная плата исполнителей темы;
– дополнительная заработная плата исполнителей темы;
– отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
– накладные расходы.

5.4.1 Затраты на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают затраты, понесенные в связи с покупкой специального оборудования, необходимого для проведения НТИ.

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ [15]

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб
Электроанализатор Circutor AR.6	1	314 985	362232,75
Токоизмерительные клещи СР-2000/200	1	59 772.59	68738,48
Шунт для токовых трансформаторов	1	2 928	3367,2
ИТОГО			434338,43

5.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В данный тип расходов вносится основная заработная плата научных работников, участвующих в выполнении исследования. Величина расходов пропорциональна трудоемкости каждой из работ, выполняемой сотрудником, времени выполнения данной работы и действующей системы окладов и тарифных ставок. Также учитывается ежемесячная премия в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет данного типа расходов сводится в таблицу 11.

Общее значение выплачиваемой работнику заработной платы включается в себя значение основной заработной платы и дополнительной:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (22)$$

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

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

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_р \quad (23)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$Т_р$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 5);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_м \cdot М}{F_д} = \frac{53594 \cdot 10,4}{219} = 2545,1 \text{ руб} \quad (24)$$

где $З_м$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня М =11,2 месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней М=10,4 месяца, 6-дневная неделя;

$F_д$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 10).

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	**Руководитель**	**Инженер**
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	119	119
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	28	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	219

Месячный должностной оклад работника:

$$З_м = З_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_д) \cdot k_р = 27484 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53594 \text{ руб} \quad (25)$$

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

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_д$ – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

$k_р$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 11:

Таблица 11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$З_{м}$, руб	$З_{дн}$, руб.	$Т_{р}$, раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	27484	0,3	0,2	1,3	53594	2545	17	43`265
Инженер	17808	0,3	0,2	1,3	34725	1649	76	125`324
ИТОГО								168`589

5.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты данного типа включают в себя доплаты 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 формулам:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,12 \cdot 43265 = 5191,8 \text{ руб}$$
$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,12 \cdot 125324 = 15038,9 \text{ руб}$$

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

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,271 \cdot (43265 + 5191,8) = 13131 \text{ руб}$$
$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,271 \cdot (125324 + 15038,9) = 38038,3 \text{ руб}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представляем в таблице 12:

Таблица 12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	**Основная заработная плата, руб.**	**Дополнительная заработная плата, руб.**
Руководитель проекта	43265	5191,8
Студент-дипломник	125324	15038,9
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого		
Руководитель	13131	
Студент	38038,3	
Итого	51169,3	

5.4.5 Накладные расходы

Под данным типом расходов необходимо подразумевать иные затраты организации, которые не попали в вышеприведенные статьи расходов, такие как: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр} = \left(З_{спец} + З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}\right) \cdot 0{,}16 =$$

$$= (434338{,}43 + 168589 + 20230{,}7 + 51169{,}3) \cdot 0{,}16 = 107892{,}4, \textit{руб}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы – 16%.

5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанные выше величины затрат всех типов для данного научно-исследовательского проекта позволят сформировать комплексный бюджет, который будет использован как минимальное значение затрат на разработку данного проекта и который необходимо будет обосновать при подписании договора с заказчиком.

Разработанный бюджет научно-исследовательского проекта приведен в таблице 13:

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Затраты на специальное оборудование для научных работ	434338,43	55,53
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	168589	21,55
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20230,7	2,59
4. Отчисления во внебюджетные фонды	51169,3	6,54
5. Накладные расходы	107892,4	13,79
6. Бюджет затрат НТИ	782219,9	100

5.5 Заключение

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения в сравнении с другими перспективами, был произведены SWOT-анализ, планирование, которое ограничило выполнение работы в 93 дня. Также был посчитан бюджет НТИ равный 782 тыс. руб, основная часть которого приходится на затраты на специальное оборудование для научных работ – 55,5%.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕСТВЕННОСТЬ

Электроэнергетика относится к той отрасли, в которой риск и опасность неизбежны – они являются составной ее частью. Труд энергетиков сопряжен с большими нагрузками и вредностью производства, которое стоит по этому показателю на третьем месте среди отраслей российской промышленности.

На энергетиков оказывают воздействия вредные факторы различной физической природы начиная от механических колебаний и заканчивая ионизирующем излучением. Подавляющее большинство факторов настолько опасны, что оказываю влияние не только на самочувствие, но на здоровье, а в крайних случаях способны привести к фатальному исходу. Поэтому необходимо обеспечивать защиту электроэнергетического персонала от опасностей, которые их окружают, т.к. залог надежной, бесперебойной работы объектов энергетики напрямую зависит от здоровья и самочувствия обслуживающего персонала.

Добиться осуществления мероприятий по комплексной защите обслуживающего персонала возможно только, решая разносторонние и сложные задачи по охране труда и технике безопасности. Все охранные мероприятия необходимо осуществлять не только при эксплуатации электроэнергетических объектов, но и при проектировании и монтаже.

Поэтому занимаясь в данной работе исследованием работы противоаварийной автоматики разгрузки необходимо также произвести работу с нормативно-правовыми актами, определить предельно допустимые значения и уровни вредных и опасных факторов, оказывающих влияние на электроэнергетический персонал, разработать и осуществить мероприятия, позволяющие снизить или полностью устранить влияние данных факторов. Мероприятия защиты можно разделить на технические способы обеспечения защиты персонала и на средства индивидуальной и коллективной защиты.

6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Рабочее место представляет собой помещение электрической подстанции, внутри которой находится электроприборы и электрооборудование под высоким напряжением. Рабочее место характеризуется рабочей средой – совокупностью факторов внешней среды, воздействующих на человека.

Вредными факторами, воздействующими на персонал подстанции, являются электрическое и магнитное поля, создаваемые электроустановками.

Также в помещении электрической подстанции велик шанс поражения персонала электрическим током, а также воздействие электрических разрядов (импульсного тока), возникающих при прикосновении человека к изолированным от земли конструкциям, корпусам машин и механизмов на пневматическом ходу и протяженным проводникам, или при прикосновении человека, изолированного от земли, к растениям, заземленным конструкциям и другим заземленным объектам.

При эксплуатации объекта могут возникнуть аварийные ситуации, в ходе которых возможно появление пожаров, что является техногенной чрезвычайной ситуацией. Это поможет повлечь за собой разрушение оборудования и как следствие потребитель останется без электроэнергии, что повлечет за собой проблемы социального характера.

6.2 Производственная санитария

6.2.1 Производственные метеоусловия**.**

Согласно нормативно-технической документации при нормировании параметров микроклимата выделяют холодный период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной +10°С и ниже и теплый период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше +10°С. Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энерготрат организма в ккал/ч (Вт). [16]

Допустимые параметры микроклимата производственных помещений представлены в таблице 14:

Таблица 14 – Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ	Оптимальная температура воздуха, °С	Допустимая температура воздуха, °С		Оптимальная температура поверхностей, t°С	Допустимая температура поверхностей, °С	Оптимальная относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с		
			Если $t^o < t^o_{опт}$	Если $t^o > t^o_{опт}$				Если $t^o < t^o_{опт}$	Оптимальная	Если $t^o > t^o_{опт}$ **
Хол.	IIа	19 – 21	17 – 18,9	21,1 – 23,0	18,0 – 22,0	16 – 24	60 – 40	0,1	0,2	0,3
Тепл.	IIа	20 – 22	18 – 19,9	22,1 – 27,0	19,0 – 23,0	17 – 28	60 – 40*	0,1	0,2	0,4

На электростанции предусмотрены приточно-вытяжные общеобменные и местные вытяжные системы вентиляции. При этом соблюдается принцип раздельного вентилирования помещений зоны строгого режима и зоны свободного режима. Основным принципом организации вентиляции производственных помещений является обеспечение направленности движения воздушных потоков только в сторону более грязных помещений. Отопление помещений предусматривается воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией.

6.2.2 Освещение производственных помещений.

Рациональное освещение производственных помещений и рабочих мест на электростанции (ЭСТ) имеет большое значение для выполнения персоналов своих функциональных обязанностей в условиях, когда в большинстве помещений отсутствует естественное освещение. На ЭСТ предусматривается естественное, совмещенное и искусственное освещение. Для освещения помещений применяются, как правило, газоразрядные лампы низкого и высокого давления – люминесцентные, металлогенные, натриевые, ксеноновые и дуговые ртутные лампы.

Характеристика зрительной работы на подстанции относится к работе высокой точности. Взаимосвязь нормируемых параметров естественного и искусственного освещения с характеристиками зрительных работ представлены в таблице 15 [16]:

Таблица 15 – Взаимосвязь нормируемых параметров естественного и искусственного освещения

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы, %	Освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусственного освещения, лк	Средний КЕО при верхнем или верхнем и боковом освещении, %	Минимальный КЕО при боковом освещении, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Различение объектов при фиксированной линии зрения							
Высокой точности	0,3-0,5	Б	1	≥70	300	3,0	1,2
			2	<70	200	2,5	1,0
Обзор окружающего пространства							
Средняя насыщенность	-	Д	-	-	200	2,5	0,7
Общая ориентировка в пространстве интерьера							
Малое скопление людей	-	Ж	2		50	-	-
Общая ориентировка в зонах передвижения							
Малое скопление людей	-	З	2		20	-	-

6.2.3 Шум и вибрация в производственных помещениях.

Источником возникновения шума и вибрации являются вращающиеся машины, технологические установки и аппараты, в которых происходит перемещение с большой скоростью жидкостей и газов, электротехническое оборудование с переменными электромагнитными полями. С физиологической точки зрения шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека.

Основное мероприятие для защиты от шума – снижение его в источнике, высокое качество изготовления и правильная эксплуатация. Для защиты от шума применяются строительно-акустические меры: звукоизоляция ограждающих

конструкций; звукопоглощающие конструкции и экраны; глушители шума; правильная планировка и застройка. В качестве средств индивидуальной защиты от шума применяются вкладыши, наушники, шлемы и костюмы.

Допускаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах следует принимать [17]:

– для широкополосного постоянного и непостоянного (кроме импульсного) шума - по таблице 16;

– для тонального и импульсного шума - на 5 дБ меньше значений, указанных в таблице 16:

Таблица 16 – Допускаемые уровни звукового давления на рабочих местах

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Защита от вибраций осуществляется методом виброизоляции путем устройства упругих элементов, размещенных между вибрирующей машиной и основанием, на котором она установлена. В качестве амортизаторов используют пружины или резиновые прокладки. Виброизолирующая способность резиновых амортизаторов меньше, чем пружинных, но благодаря большому их внутреннему трению они обеспечивают меньшее время затухания свободных колебаний системы. В качестве индивидуальной защиты от вибраций, передаваемых человеку через ноги, рекомендуется носить обувь на войлочной или толстой из микропористой резины подошве. Для защиты от вибрации рук рекомендуется виброгасящие перчатки.

По способу передачи на человека различают: общую вибрацию, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека; локальную вибрацию, передающуюся через руки человека.

Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации представлены в таблице 17 [18]:

Таблица 17 – Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям $X_Л, Y_Л, Z_Л$			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с^2	дБ	м/с $\cdot 10^{-2}$	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11	141	1,4	109
250	22	147	1,4	109
500	45	153	1,4	109
1000	89	159	1,4	109
Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими настоящие санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза), по интегральной оценке, или в какой-либо октавной полосе, не допускается.				

6.3 Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов

Одними из основных документов, которыми нам необходимо будет воспользоваться это Правила устройства электроустановок (ПУЭ), в котором предъявлены все требования к правильной и безопасной эксплуатации электроустановок; ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», который устанавливает общие требования безопасности к конструкции электротехнических изделий; ГОСТ Р 12.1.019-2009 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты», в котором

приведены технические способы и средства защиты, обеспечивающие электробезопасность электроустановок различного назначения

Также следует воспользоваться такими документами, как СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»; СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»; СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»; ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» и НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности».

6.4 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

6.4.1 Физическая природа вредности

Природа вредности заключается в воздействии электромагнитных полей на организм человека.

Различие диэлектрических свойств тканей приводит к неравномерности их нагрева, возникновению макро- и микротепловых эффектов со значительным перепадом температур.

6.4.2 Действие фактора на организм человека

Воздействие электростатического поля (ЭСП) на человека связано с протеканием через него слабого тока. При этом электротравм не бывает. Однако вследствие рефлекторной реакции на раздражение анализаторов на коже человек отстраняется от заряженного тела, что может привести к механической травме от удара о рядом расположенные элементы конструкций, падение с высоты, испуг с возможной потерей сознания.

Электростатическое поле большой напряженности (несколько десятков киловольт) способно изменять и прерывать клеточное развитие, вызывать катаракту с последующим помутнением хрусталика.

Воздействия электромагнитных полей неблагоприятно сказывается на состоянии здоровья персонала: длительное воздействие электрического поля на организм человека может вызвать нарушение функционального состояния нервной

и сердечно-сосудистой систем. Это выражается в повышенной утомляемости, снижении качества выполнения рабочих операций, болях в области сердца, изменении кровяного давления и пульса. Воздействие магнитного поля проявляется в индуцировании в теле человека вихревых токов, которые могут вызвать возможность развития нейродегеративных болезней и нейрологических расстройств. К этой возможной патологии в настоящее время относят депрессивный синдром, прогрессирующую мышечную атрофию, болезни Альцгеймера и Паркинсона.

6.4.3 Приведение допустимых норм с необходимой размерностью

6.4.3.1 Электростатическое поле

Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [19] оценка и нормирование ЭСП осуществляется по уровню электрического поля дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на работника за смену.

– Предельно допустимый уровень напряженности электростатического поля ($E_{ПДУ}$) при воздействии ≤ 1 час за смену устанавливается равным 60 кВ/м.
– При воздействии ЭСП более 1 часа за смену $E_{ПДУ}$ определяются по формуле :

$$E_{ПДУ} = \frac{60}{\sqrt{t}}$$

где t – время воздействия, час

– При напряженностях электростатического поля, превышающих 60 кВ/м, работа без применения средств защиты не допускается.
– При напряженностях ЭСП менее 20 кВ/м время пребывания в электростатических полях не регламентируется.

6.4.3.2 Постоянное магнитное поле

Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [19] оценка и нормирование ПМП осуществляется по

уровню магнитного поля дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на работника за смену для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействия. Предельно допустимые уровни постоянного магнитного поля представлены в таблице 18:

Таблица 18 – Предельно допустимые уровни постоянного магнитного поля

Время воздействия за рабочий день, минуты	Условия воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
0-10	24	30	40	50
11-60	16	20	24	30
61-480	8	10	12	15

6.4.3.3 Электрическое поле промышленной частоты

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

При напряженностях в интервале больше 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в ЭП Т (час) рассчитывается по формуле:

$$t = \frac{50}{E} - 2,$$

где E - напряженность ЭП, кВ/м

t - допустимое время пребывания, час

При напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин.

Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

6.4.3.4 Магнитное поле промышленной частоты

Предельно допустимые уровни магнитного поля промышленной частоты представлены в таблице 19:

Таблица 19 – Предельно допустимые уровни магнитного поля промышленной частоты

Время пребывания (ч)	Допустимые уровни МП Н (А/м) / В (мкТл) при воздействии	
	Общем	Локальном
<1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

6.4.3.5 Предлагаемые средства защиты

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного облучения осуществляется следующими способами: уменьшением излучения от источника; экранированием источника излучения и рабочего места; установлением санитарно-защитной зоны; поглощением или уменьшение образования зарядов статического электричества; устранением зарядов статического электричества; применением средств индивидуальной защиты.

6.5 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды

6.5.1 Механические опасности

Под механическими опасностями понимаются такие нежелательные воздействия на человека, происхождение которых обусловлено силами гравитации или кинетической энергией тел.

Механические опасности создаются падающими, движущимися, вращающимися объектами природного и искусственного происхождения.

Носителями механических опасностей искусственного происхождения являются машины и механизмы, различное оборудование, здания и сооружения, и многие другие объекты, воздействующие в силу разных обстоятельств на человека своей массой, кинетической энергией или другими свойствами.

В качестве методов и средств защиты от механических воздействий используют следующие:

1.Обеспечение недоступности опасной зоны;

2.Уменьшение опасности при помощи специальных приспособлений к которым относятся:

– Оградительные устройства (стационарные, съемные, переносные, частичные, могут быть сплошными и сетчатыми)

– Предохранительные устройства ограничения (слабое звено), шпонки, мембраны

6.5.2 Термические опасности

Термические опасности могут приводить к ожогам и ошпариванию из-за соприкосновения с предметами или материалами, имеющими чрезвычайно высокую или низкую температуру, вызванную, например, пламенем или взрывом, а также излучением источников тепла; ущербу здоровью из-за воздействия высокой или низкой температуры окружающей производственной среды.

Для защиты от теплового излучения применяются средства коллективной (СКЗ) и индивидуальной (СИЗ) защиты.

Среди коллективных наиболее распространенными средствами защиты являются устройства, обеспечивающие защиту следующими приемами:

– герметизацией оборудования

– использованием оградительных, теплоизолирующих устройств

– максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов с выводом работающих из «горячих зон» (дистанционное управление)

– оптимальным размещением оборудования и рабочих мест

– средствами вентиляции

– автоматическим контролем и сигнализацией

В качестве средств индивидуальной защиты используются:

– специальные костюмы невоспламеняемого, стойкого к тепловому излучению, прочного, мягкого, влагоемкого, гигроскопичного материала (например, сукно, лен, брезент)

– валенки или ботинки

– рукавицы суконные или брезентовые

–широкие суконные, войлочные, фетровые шляпы или каски

– очки защитные со светофильтрами.

6.5.3 Электробезопасность

Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [20] электрозащитными средствами называют средства, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги и электромагнитного поля.

К средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

- оградительные устройства;
- устройства автоматического контроля и сигнализации;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления и зануления;
- устройства автоматического отключения;
- устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства;
- молниеотводы и разрядники;
- знаки безопасности.

К средствам защиты от повышенного уровня статического электричества относятся:

- заземляющие устройства;
- нейтрализаторы;
- увлажняющие устройства;
- антиэлектростатические вещества;
- экранирующие устройства.

Молниезащита представляет собой комплекс мероприятий, направленных на предотвращение прямого удара молнии в объект. Средством защиты от прямых ударов молнии служит молниеотвод – устройство, рассчитанное на непосредственный контакт с каналом молнии и отводящие ее ток в землю.

6.6 Охрана окружающей среды

Электрические 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 ПС относятся: электромагнитные поля, акустический шум, озон, окислы азота, электропоражение птиц, садящихся 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».

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.

Существенный вред, который можно нанести окружающей среде при эксплуатации ПС – это растекание трансформаторного масла. Для предотвращения растекания масла при повреждении трансформатора, в соответствии с п. 4.2.69 ПУЭ [21bv], на подстанции предусмотрена сеть маслоотводов со сбросом в закрытый маслосборник емкостью 50 м^3. Емкость маслосборника рассчитана на задержание полного объема масла из наибольшего единичного оборудования

плюс 20 м^3 воды. Подстанция не оказывает вредного влияния на атмосферный воздух, т.к. при эксплуатации отсутствуют выбросы.

6.7 Защита в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной ЧС, которая может возникнуть на подстанции- это пожар, возникший в результате короткого замыкания или неисправности электрооборудования. Пожары на подстанциях могут возникать на трансформаторах, масляных выключателях и в кабельном хозяйстве. Крупные районные подстанции имеют специальные масляные станции, где находится большое количество трансформаторного масла. Трансформаторы и выключатели распределительных устройств устанавливают на фундаменты, под которыми располагают маслоприемники, соединенные с аварийными емкостями. Каждый трансформатор, как правило, помещают в отдельной камере, которая соединяется с монтажными проемами с помещением распределительного щита и кабельными каналами.

Все подстанции снабжены надежной системой защиты и сигнализации, а также первичными средствами пожаротушения. При возникновении пожаров поврежденное оборудование и аппараты автоматически отключаются устройствами релейной защиты.

6.7.1 Пожаровзрывобезопасность

Пожарная опасность заключается в наличии источника зажигания [высокой температуры (до 150°С) теплоносителя (воды, пара, нагретого воздуха в системах кондиционирования, газового или электрического отопления)] и взрывопожароопасной газо-, паровоздушной среды, удаляемой системами вентиляции из зданий и помещений (обращающейся в системах вентиляции), способной воспламеняться (взрываться) при контакте с различными источниками зажигания.

Основная задача пожарной профилактики, с одной стороны, заключается в том, чтобы исключить потенциальный источник зажигания в виде нагретых поверхностей (излучающих поверхностей) систем отопления, а с другой стороны, - исключить накопление взрывопожароопасной воздушной среды в помещении (удалить ее за пределы помещения).

В ходе пожарно-технического обследования также необходимо производить контроль работоспособности систем аварийной и противодымной вентиляции, которые призваны обеспечить безаварийность технологических процессов и безопасность людей при эвакуации из зданий и сооружений в случае пожара. Так же обязательно наличие первичных средств пожарной безопасности. К первичным средствам пожарной безопасности относят огнетушители, внутренние пожарные краны, пожарные щиты с инвентарем и ящиками с песком.

6.8 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При компоновке рабочего места должны быть в указанном порядке выполнены следующие технические мероприятия:

• произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;

• на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;

• проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;

• наложено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);

• вывешены указательные плакаты «Заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

6.9 Заключение

В результате выполнения данного раздела были рассмотрены опасные производственные факторы, которые возможны на территории электрической подстанции, а именно воздействие электромагнитного поля, как переменного, так и постоянного; механические воздействия; термические воздействия шумы и виб-

рации. В ходе рассмотрения на основе нормативной документации были определены предельно допустимые значения и уровни воздействующих факторов и средства личной и коллективной защиты.

Также были рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации такие как пожар и обозначены основные средства сигнализации и оповещения персонала.

Электрическая подстанция – объект энергетики, которая минимально воздействует на окружающую среду в режиме нормального функционирования, поэтому поддержание нормального функционирования необходимо не только для энергоснабжения потребителей электрической энергии, но для благоприятной экологической обстановки окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была проведена настройка автоматики разгрузки при разрыве электропередачи 500 кВ Томской энергосистемы с учетом статических характеристик нагрузки. Этому предшествовало комплексное рассмотрение специальной автоматики подсистемы предотвращения нарушения устойчивости, а в особенности принципов построения и функционирования автоматики разгрузки; рассмотрение вариантов представления электрической нагрузки в энергосистемах; определение методики определения максимально допустимого перетока активной мощности по контролируемому сечению; рассмотрение ресурсоэффективности данного исследования и социальной ответственности.

Для настройки автоматики разгрузки требовалось определение уставок срабатывания устройства дозировки управляющих воздействий – устройства контроля предшествующего режима, для определения уставок были использованы шесть различных моделей представления нагрузки: постоянной мощностью, постоянным шунтом и статические характеристики нагрузки с разными коэффициентами квадратичного полинома. Было выявлено, что модель представления нагрузки напрямую влияет на величину уставки срабатывания, также сделан вывод что для получения достоверного результата при определении максимально допустимого перетока необходимо использование статических характеристик нагрузки полученных для каждого нагрузочного узла, но в виду трудоемкости получения действительных СХН, возможно использование обобщенных СХН для каждого уровня напряжения.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Pankratov A. V. , Kondrashov M. A. , Paul S. V. Using Static Polynomial Load Models in “RastrWin” Software Package for Power System Studies // MATEC Web of Conferences . - 2015 - Vol. 37, Article Number 01039. - p. 1-4
2. Askarov A. B. , Kondrashov M. A. , Kosmynina N. M. Research of reliable power supply schemes for OOO Gazprom production Yamburg gas field // MATEC Web of Conferences . - 2015 - Vol. 37, Article number 01004 . - p. 1-5
3. Кондрашов, М. А. Искажение формы статических характеристик нагрузки в узлах электрической сети / М. А. Кондрашов, А. В. Панкратов // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы III российской молодежной научной школы-конференции, г.Томск, 21-23 октября 2015 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ); ред. кол. Е. П. Богданов, Т. В. Усачева. — Томск: СКАН, 2015.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривоненков В.В. Противоаварийная автоматика/ Под ред. А.Ф. Дьякова: Учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 16 с.
2. Семенов А.В. Противоаварийная автоматика в ЕЭС России. – М.: НТФ «Энергопрогресс»,2004. – 104 с.
3. Сборник распорядительных материалов по эксплуатации энергосистем. Электротехническая часть. М. СПО ОРГРЭС, 2002, 223 с.
4. Методические указания по устойчивости энергосистем / Утверждены приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 277, 2003 г. – 14 с.
5. СТО 59012820.29.240.001-2011 Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы итребования – официальный сайт Системный оператор Единой энергетической системы www.so-ups.ru (по состоянию на 23.03.2016).
6. Вайнштейн Р.А. Автоматическое управление электроэнергетическими системами в нормальных и аварийных режимах: учебное пособие. Часть 2 / Р.А. Вайнштейн, В.В. Шестакова, И.М. Кац; ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 124 с.
7. СТО 56947007-33.040.20.142-2013 Типовые алгоритмы локальных устройств противоаварийной автоматики (ПА) (ФОЛ, ФОДЛ, ФОТ, ФОДТ, ФОБ) – официальный сайт Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы (ПАО «ФСК ЕЭС). www.fsk-ees.ru (по состоянию на 22.03.2016).
8. СТО 56947007-33.040.20.123-2012 Аттестационные требования к устройствам противоаварийной автоматики (ПА) – официальный сайт Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы (ПАО «ФСК ЕЭС). www.fsk-ees.ru (по состоянию на 22.03.2016)
9. Ананичева С.С. Схемы замещения и установившиеся режимы электрических сетей: учеб.пособие / С.С. Ананичева, А.Л. Мызин – 5-е изд. испр. и доп. – Екатеринбург: УрФУ, 2011 – 82 с.

10. В.Г. Неуймин Программный комплекс «RastrWin3». Руководство пользователя. 28.08.2012. / В.Г. Неуймин, Е.В. Машалов, А.С. Александров, А.А. Багрянцев. URL: http:// www.rastrwin.ru/download/Files/ HELP_RastrWin3_ _29_08_12.pdf (дата обращения 11.03.2016)
11. Экспериментальное исследование режимов энергосистем / Л.М. Горбунова, М.Г. Портной, Р.С. Рабинович и др.; Под ред. С.А. Совалова – М.: Энергоатомиздат, 1895 – 448 с.
12. СТО 59012820.27.010.001-2013 Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях диспетчерского центра ОАО «СО ЕЭС»: Стандарт организации – М.: 2013 – 36 с.
13. Окин А.А. Противоаварийная автоматика энергосистем. М.: Издательство МЭИ, 1995 г. – 212 с.
14. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие /И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; ТПУ. − Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
15. Официальный дистрибьютер Circutor URL: http://www.circutor-ar6.ru/ar6.html (дата обращения 25.02.2016)
16. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.
17. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ,2015
18. ГОСТ 12.1.012-2004 Вибрационная безопасность. Общие требования – М.: Стандартинформ, 2010.
19. СанПиН 2.2.4.1191 Электромагнитные поля в производственных условиях – Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 19.02.2003 №10.

20. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты – М.: Стандартинформ, 2010
21. Правила устройства электроустановок – Новосибирск: Норматика, 2014. – 464 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

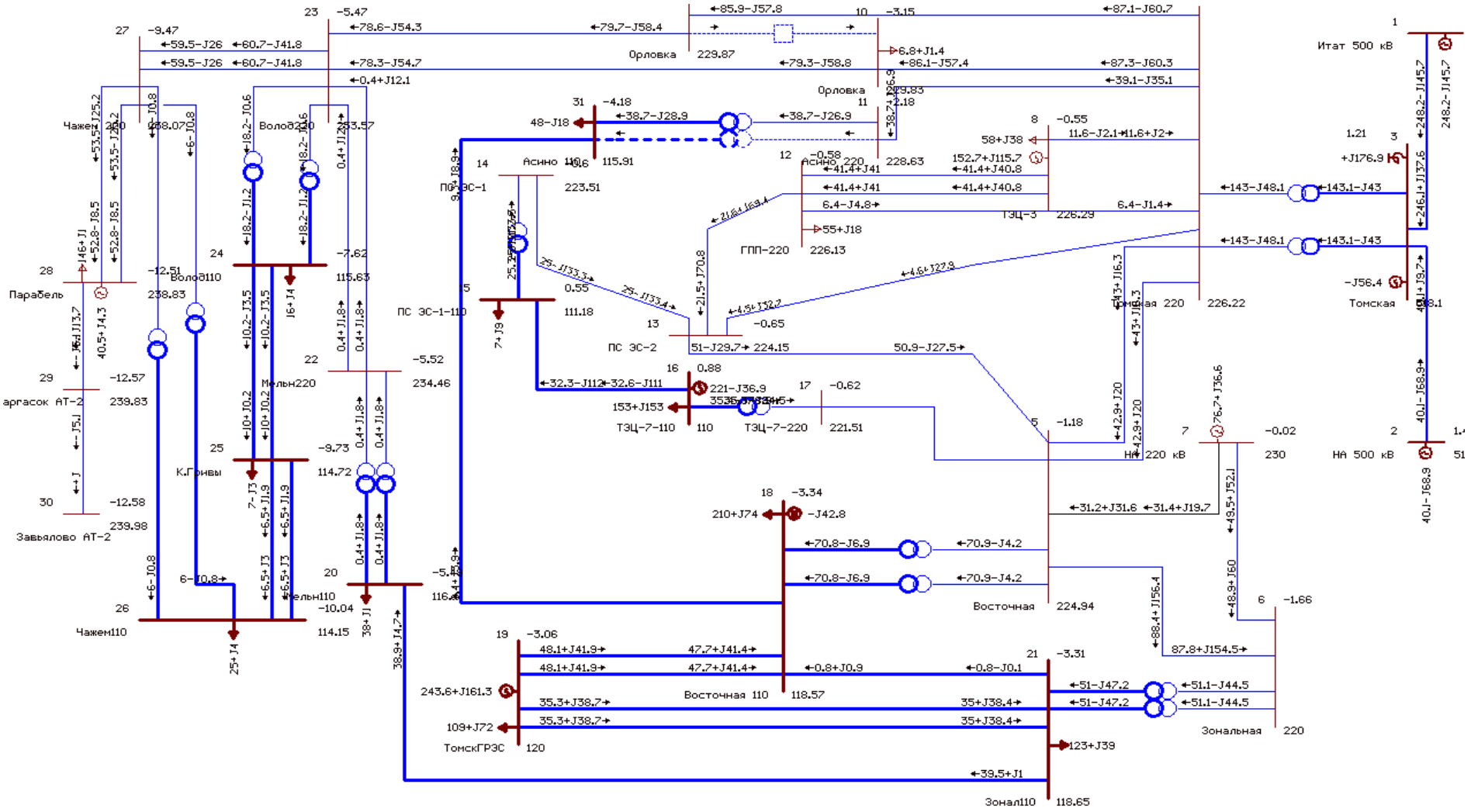

Рисунок А – Томская энергосистема, смоделированная в программном комплексе «RastrWIN»

Приложение Б

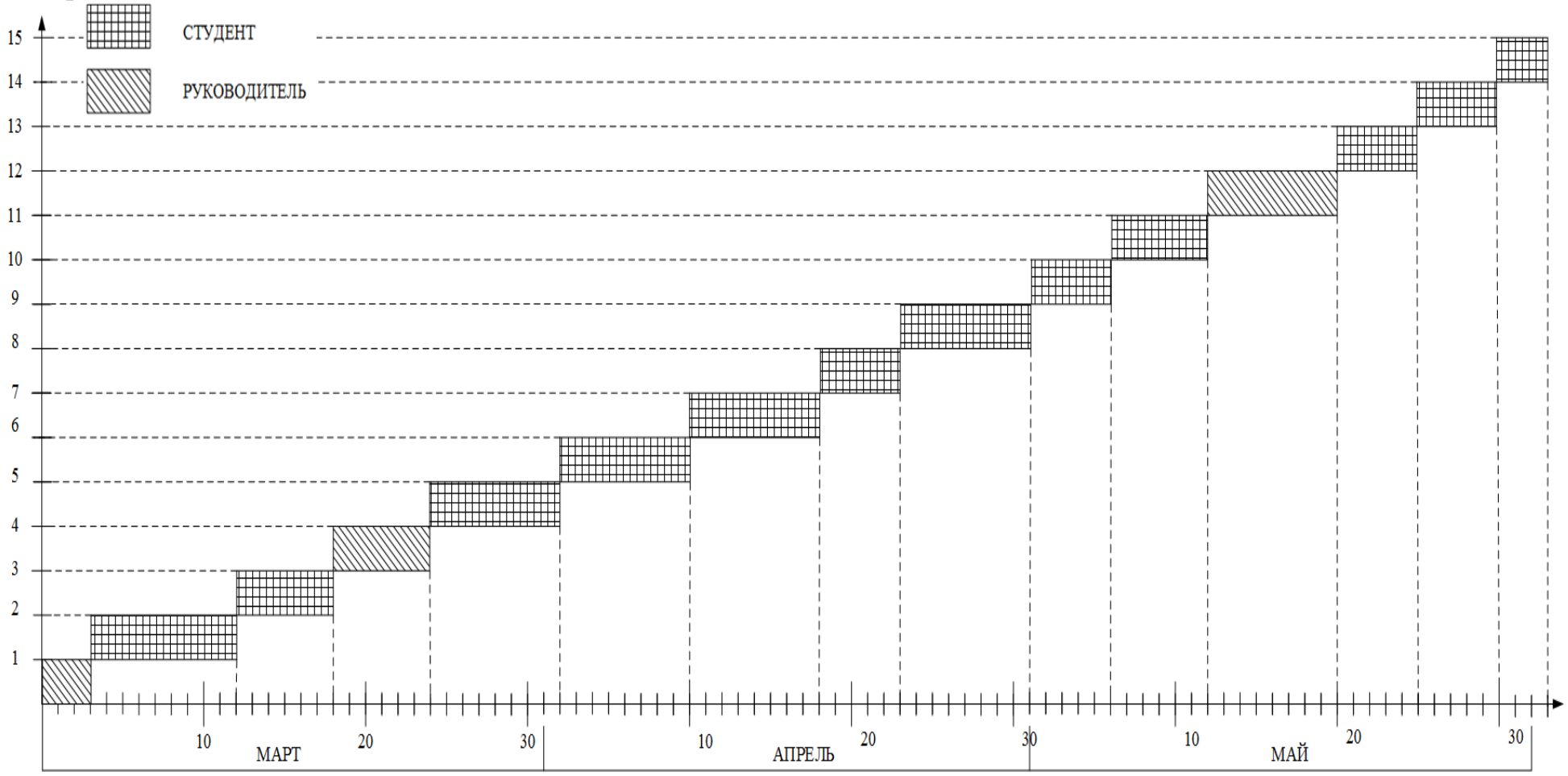

Рисунок Б – Календарный план-график Ганта