

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электроэнергетические системы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка мероприятий для предотвращения нарушения синхронной динамической устойчивости генераторов Саяно-Шушенской ГЭС

УДК 621.313.12.016.352:611.311.21(571.531)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5P	Никитин Максим Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Расчет электромеханических переходных процессов»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор-консультант	Вайнштейн Р.А.	д.т.н., профессор		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетические системы	Сулайманов А.О.	к.т.н., доцент		

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения

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

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электроэнергетические системы

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ЭЭС

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5P	Никитину Максиму Александровичу

Тема работы:

Разработка мероприятий для предотвращения нарушения синхронной динамической устойчивости генераторов Саяно-Шушенской ГЭС	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 16.05.2017 г. № 3276/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Объектом исследования является Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С. Непорожного.</i> <i>В качестве исходных данных представлены:</i> • математическая модель энергосистемы в ПК «EUROSTAG v.5.1» и ПК «RastrWin3»; • временные диаграммы работы РЗ, выключателей, определяющие сценарий моделирования электромеханического переходного процесса; • сопротивления шунтов КЗ, для моделирования несимметричных КЗ.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	• расчет электромеханических переходных процессов; • анализ графиков переходных процессов; • определение дозировки управляющих воздействий; • определение уставок пусковых органов ПА; • составление функциональных схем ПА; • разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; • разработка раздела «Социальная ответственность».

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	• <i>схема основной системообразующей сети 500-220 кВ ОЭС Сибири;</i> • <i>расчетные графики переходных процессов;</i> • <i>функциональные схемы ПА.</i>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Расчет электромеханических переходных процессов	Вайнштейн Р.А., профессор-консультант кафедры электроэнергетических систем
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко А. А., доцент кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Амелькович Ю. А., доцент кафедры экологии и безопасности
Раздел ВКР на иностранном языке	Баластов А.В., старший преподаватель кафедры иностранных языков
Раздел ВКР на иностранном языке	Сулайманов А.О., доцент кафедры электроэнергетических систем
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Transient Stability Analysis	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.02.2017 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5P	Никитин Максим Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5P	Никитину Максиму Александровичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Электроэнергетические системы
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость затрат НТИ: на специальное оборудование, зарплаты, страховые отчисления, прочие и накладные расходы	Затраты на специальное оборудование определяются согласно стоимости оборудования по прейскурантам или по договорной цене. Заработная плата определяется исходя из тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону от 24.07.2009 №212-ФЗ Прочие и накладные расходы определяются исходя из суммы остальных статей расходов.
2. Продолжительность выполнения НТИ	Приблизительная оценка продолжительности выполнения НТИ составляет 96 рабочих дней

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации НТИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка потенциала и перспективности реализации НТИ производится с помощью SWOT-анализа и интегральной оценки ресурсоэффективности. Определение метода коммерциализации НТИ.
2. Планирование и формирование графика работ по реализации ТП	Для составления графика проведения НТИ используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график работ, позволяющий лучше спланировать процесс реализации НТИ.
3. Формирование сметы НТИ	В процессе формирования сметы НТИ используется следующая группировка затрат по статьям: – материальные затраты НТИ; – затраты на специальное оборудование; – полная заработная плата исполнителей; – отчисления во внебюджетные фонды; – накладные расходы.

Перечень графического материала: Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко А.А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5P	Никитин Максим Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5P	Никитину Максиму Александровичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Электроэнергетические системы
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Характеристика объекта исследования и области его применения	<i>Разработка мероприятий для предотвращения нарушения синхронной динамической устойчивости Саяно-Шушенской ГЭС</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1 Профессиональная социальная безопасность <i>1.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования</i> – 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 <i>1.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований</i> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, – источники, средства защиты)	<i>Рассматриваются вредные и опасные факторы, которые могут возникать на рабочем месте сотрудника службы электрических режимов.</i> <i>Вредные факторы:</i> – повышенный уровень шума; – электромагнитные поля и излучения; – недостаточная освещенность рабочего места; – отклонение показателей микроклимата в рабочей зоне. <i>Опасные факторы:</i> – электрический ток.
2 Экологическая безопасность <i>2.1. Анализ влияния деятельности работника при проведении исследования на окружающую среду</i> – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – мероприятия по обеспечению экологической безопасности.	<i>Основную деятельность сотрудник службы электрических режимов выполняет используя ПЭВМ, бумагу и канцелярские товары. Рассматривается их влияние на литосферу.</i>

3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 3.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут при проведении исследований. – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС. 3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС. – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Наиболее вероятные возможные чрезвычайные ситуации: – пожар; – террористический акт; – удар молнии в здание. Более подробно рассматривается одна чрезвычайная ситуация: пожар. Приведены действия персонала при возникновении возгорания.
4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства. 4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	Рассматриваются следующие пункты: – длительность рабочей недели; – непрерывный еженедельный отпуск; – время перерыва в течении рабочего дня; – право на отпуск; – право на медицинский осмотр. Компоновка рабочего места работника.
Перечень графического материала:	

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5P	Никитин Максим Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 104 с., 41 рис., 16 табл., 28 источников, 9 прил.

Ключевые слова: синхронная динамическая устойчивость, противоаварийное управление, отключение генераторов, гидроэлектростанция, максимально допустимая суммарная нагрузка электростанции.

Объектом исследования является Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С. Непорожного.

Цель работы – разработать мероприятия по предотвращению нарушения синхронной динамической устойчивости генераторов Саяно-Шушенской ГЭС.

В процессе исследования проводились расчеты электромеханических переходных процессов при возникновении нормативных возмущений I, II и III группы, для различного числа включенных гидрогенераторов на ГЭС и при различном фактическом значении перетока активной мощности в контролируемом сечении «Красноярск, Хакасия – Запад».

В результате исследования была определена максимально допустимая суммарная нагрузка Саяно-Шушенской ГЭС без учета противоаварийной автоматики; определена дозировка управляющих воздействий; выявлены пусковые факторы противоаварийной автоматики; составлены функциональные схемы подсистемы локальной автоматики предотвращения нарушения устойчивости – автоматики разгрузки при затяжных коротких замыканиях.

Области применения: результаты работы могут быть использованы для определения настройки параметров устройства противоаварийной автоматики для предотвращения нарушения синхронной динамической устойчивости генераторов Саяно-Шушенской ГЭС в случае возникновения затяжных КЗ.

Полученные результаты могут быть основой для дальнейшего развития работы и, в частности, с учетом большего объема возможных режимов работы электростанции и прилегающей сети.

Обозначения и сокращения

Используемые сокращения:

АПВ – автоматическое повторное включение;
АРБКЗ – автоматическая разгрузка при близких КЗ;
АРЗКЗ – автоматическая разгрузка при затяжных КЗ;
БВУ – бассейновое водное управление;
ВЛ – воздушная линия;
ГА – гидроагрегат;
ГГ – гидрогенератор;
ГРЭС – государственная районная электростанция;
ГЭС – гидроэлектростанция;
ДРТ – длительная разгрузка турбин;
ДС – деление сети;
ЕЭС – единая энергосистема;
ИРТ – импульсная разгрузка турбин;
КВЛ – кабельно-воздушная линия;
КЗ – короткое замыкание;
ЛАПНУ – локальная автоматика предотвращения нарушения устойчивости;
ОГ – отключение части генераторов;
ОДУ – объединенное диспетчерское управление;
ОН – отключение части нагрузки;
ОР – отключение реактора
ОЭС – объединенная энергосистема;
ПА – противоаварийная автоматика
ПАО – публичное акционерное общество;
ПС – подстанция;
РДУ – региональное диспетчерское управление;
РЗ – релейная защита;
РУ – распределительное устройство;

СДУ – синхронная динамическая устойчивость;

СШ – сборные шины;

ТЭЦ – теплофикационная электростанция;

УРОВ – устройство резервирования отказа выключателя

ФВ – форсировка возбуждения;

ЦС АРЧМ – централизованная система автоматического регулирования частоты и мощности;

ЭС – энергосистема;

ЭТ – электрическое торможение;

ЭЦК – электрический центр качаний.

Оглавление

Введение	15
1 Обзор литературы	17
2 Описание объекта исследования. Задачи исследования	20
2.1 Общее описание Саяно-Шушенской ГЭС	20
2.2 Описание электрической схемы выдачи мощности Саяно-Шушенской ГЭС	21
2.3 Описание энергорайона выдачи мощности Саяно-Шушенской ГЭС	22
2.4 Задачи исследования	23
3 Исходные данные для расчета электромеханических переходных процессов	25
4 Расчет электромеханических переходных процессов	29
4.1 Расчет электромеханических переходных процессов для нормативных возмущений I и II группы КВЛ 500 кВ Саяно- Шушенская ГЭС – Новокузнецкая	29
4.2 Отключение КВЛ 500 кВ Саяно-Шушенская ГЭС – Новокузнецкая действием УРОВ при однофазном КЗ с отказом одного выключателя	35
4.3 Отключение КВЛ 500 кВ Саяно-Шушенская ГЭС – Новокузнецкая действием УРОВ при двухфазном КЗ на землю с отказом одного выключателя	41
4.4 Результаты расчета допустимой загрузки Саяно-Шушенской ГЭС без учета противоаварийной автоматики из условия сохранения синхронной динамической устойчивости	50
5 Разработка мероприятий для предотвращения нарушения динамической устойчивости генераторов Саяно-Шушенской ГЭС	55
5.1 Определение дозировки управляющих воздействий	55
5.2 Определение пусковых факторов ввода управляющих воздействий	58
5.3 Функциональная схема подсистемы противоаварийной автоматики	65
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	67

6.1	Предпроектный анализ	67
6.1.1	SWOT–анализ	67
6.1.2	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	69
6.2	Инициализация проекта	71
6.2.1	Цели и результаты проекта	71
6.2.2	Организационная структура проекта	72
6.2.3	Допущения и ограничения проекта	
6.3	Разработка графика проведения научно-технического исследования	74
6.3.1	Определение трудоемкости выполнения работ	74
6.3.2	Разработка графика выполнения научно-технического исследования	75
6.4	Составление сметы на выполнение научно-технического исследования	76
6.4.1	Полная заработная плата исполнителей	77
6.4.2	Отчисления во внебюджетные страховые формы	79
6.4.3	Накладные расходы	79
6.5	Формирование сметы на выполнение технического проекта	79
6.6	Определение ресурсоэффективности проекта	80
7	Социальная ответственность	82
7.1	Профессиональная социальная безопасность	82
7.1.1	Анализ вредных производственных факторов	83
7.1.1.1	Шум	83
7.1.1.2	Электромагнитные поля и излучения	85
7.1.1.3	Освещенность	86
7.1.1.4	Микроклимат	87
7.1.2	Анализ опасных производственных факторов	88
7.1.2.1	Электрический ток	88
7.2	Экологическая безопасность	90
7.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	91

7.1.2 Пожарная безопасность	92
7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	94
7.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	94
7.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	95
Заключение	100
Список литературных источников	101
Приложение А Схема основной системообразующей сети 500-220 кВ ОЭС Сибири	105
Приложение Б Временные диаграммы нормативных возмущений	106
Приложение В Сопротивление шунта КЗ	138
Приложение Г расчетные значения максимально допустимой загрузки из условия сохранения динамической устойчивости генерирующего оборудования Саяно-Шушенской ГЭС	140
Приложение Д Дозировка управляющих воздействий для сохранения динамической устойчивости Саяно-Шушенской ГЭС	157
Приложение Е Функциональная схема АРЗКЗ Саяно-Шушенской ГЭС	164
Приложение Ж Transient Stability Analysis	168
Приложение И Продолжительность выполнения работ и диаграмма Ганта	187

Введение

Современная Единая национальная энергетическая сеть (ЕНЭС) представляет собой совокупность концентрированных энергосистем, связанных между собой межсистемными связями. Критерии развития ЕНЭС подразумевают обеспечение всех субъектов оптового рынка условиями для беспрепятственной поставки на оптовый рынок продукции и получение продукции с рынка субъектами, при низких технических ограничениях и минимальных затратах на производство, транспортировку и распределение электроэнергии за счет строительства или модернизации электросетевых объектов.

Особенностью энергосистемы России является передача электрической энергии на большие расстояния по линиям электропередачи с ограниченной пропускной способностью, поскольку центр потребления электрической энергии не соответствует центрам генерации. Поэтому, в энергосистеме России нередко возникают случаи ограничения по выдаче мощности электрических станций, связанные как с недостаточной пропускной способностью сетей, так и нарушением устойчивости параллельной работы частей энергосистем из-за возникновения возмущений, связанных с КЗ.

Самой мощной электростанцией России является Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного, установленной мощностью 6400 МВт. Выдача мощности в энергосистему осуществляется по четырем линиям протяженностью 410-450 км. Учитывая то, что данная связь является сильной, более выраженной, в данном случае, является проблема динамической устойчивости. В частности, для ряда режимов работы Саяно-Шушенской ГЭС, существуют ограничения по выдаче мощности по критерию обеспечения динамической устойчивости генерирующего оборудования при близких и затяжных КЗ.

Целью данной работы является разработка мероприятий по обеспечению динамической устойчивости генерирующего оборудования Саяно-Шушенской ГЭС.

В качестве исходных использовались реальные данные о балансовой ситуации в энергосистеме Сибири, технических характеристиках и составе оборудования операционной зоны ОДУ Сибири. Расчеты были выполнены на верифицированной расчетной модели в ПК «EUROATAG 5.1», которая обеспечивает точное моделирование генерирующего оборудования, их систем возбуждения, автоматических регуляторов возбуждения и систем регулирования [1].

1 Обзор литературы

Разработка мероприятий по повышению динамической устойчивости генерирующего оборудования является важной и сложной инженерной задачей, требующих использования современных достижений в области расчетов электромеханических переходных процессов и способах воздействия на этот процесс.

Основные понятия по динамической устойчивости изложены в [2, 3].

Рассматривая тот или иной вид воздействия на электромеханический переходный процесс, необходимо понимать физические процессы, происходящие при данном виде воздействия, а также возможность технической реализации с минимально возможным ущербом для оборудования, на основании которых можно сделать предварительный вывод об эффективности рассматриваемого вида воздействия.

Существуют длительные и кратковременные виды воздействия на электромеханические переходные процессы.

К длительным воздействиям относятся: отключение части генераторов (ОГ), отключение части нагрузки (ОН), длительная разгрузка турбин (ДРТ), деление сети (ДС), отключение реакторов (ОР). Данные виды воздействий, в большей степени, используются для обеспечения нормативного запаса по статической апериодической устойчивости в послеаварийных режимах, но также оказывают влияние на СДУ.

Кратковременные управляющие воздействия: принудительная форсировка возбуждения (ФВ), импульсная разгрузка турбин (ИРТ), электрическое торможение (ЭТ) – используются только для сохранения СДУ.

В качестве вида управляющего воздействия, для сохранения СДУ кратко охарактеризуем следующие виды воздействий: ОГ, ИРТ и ЭТ.

ИРТ применяется для непосредственного изменения механической мощности турбины путем воздействия на количество энергоносителя, подаваемого в турбину. Суть процесса заключается в кратковременном

глубоком уменьшении механической мощности на валу турбины, обеспечивающим ее торможение за счет электрической нагрузки [4 §8]. Данный вид воздействия получил широкое распространение на тепловых электрических станциях. Система регулирования мощности гидротурбин по сравнению с паровыми турбинами не позволяет, непосредственным воздействием на регулирующие элементы (направляющий аппарат), достаточно быстро изменить механическую мощность турбины. В [4 §8] описаны предложения, позволяющие достаточно быстро изменять мощность турбины путем кратковременного отвода воды от направляющего аппарата. Характер изменения мощности гидротурбины при этом практически такой же, как и при ИРТ на паровых турбинах. В случае если бы такой способ воздействия на мощность гидротурбины был бы технически реализован, то это могло быть вполне эффективным способом предотвращения нарушения динамической устойчивости. Однако реализация такого технического решения в настоящее время отсутствует.

ЭТ представляет собой естественный способ гашения кинетической энергии роторов генераторов электрических станций, путем кратковременного подключения специальных нагрузочных резисторов (тормозных), в некоторых точках электрической сети, в частности в точках, по возможности близко примыкающих к генераторам [4 §8; 5]. Наиболее эффективным является подключение тормозных резисторов в непосредственной на выводах генератора [4 §8].

Так как мощность, поглощаемая резистором, пропорциональна квадрату напряжения то, при близких КЗ, включение тормозного резистора целесообразно осуществлять после отключения КЗ, когда ожидается повышение напряжения. Но и в этом случае эффективность торможения может быть пониженной из-за большого ускорения ротора генератора и увеличения относительного угла, к моменту коммутации тормозного резистора, до 100-120 электрических градусов. При сильной связи ЭЦК

может быть расположен близко к СШ электростанции и из-за этого уровень напряжения будет оставаться на низком уровне.

В настоящее время, ЭТ практически не применяется из-за отсутствия соответствующей аппаратуры для его реализации.

ОГ представляет собой воздействие, направленное на гашение избыточной кинетической энергии роторов генераторов, за счет ступенчатого изменения механической мощности эквивалентного энергоблока, в виде которого может быть представлена электростанция.

ОГ обладает двумя весьма важными свойствами:

а) воздействует одновременно на условия статической устойчивости в послеаварийном режиме и электромеханический переходный процесс;

б) эффективность управляющего воздействия зависит от соотношения мощностей передающей и приемной частей энергосистемы [4 §8; 5].

На данный момент времени, ОГ остается основным мероприятием для сохранения СДУ на ГЭС.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- а) оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;
- б) планирование научно-технического исследования (НТИ);
- в) определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

6.1 Предпроектный анализ

На данной стадии определяются основные показатели заинтересованности инвесторов и участников проекта, что в свою очередь, позволяет выполнить предварительный анализ рисков.

В связи со спецификой данного проекта, выполнение предпроектного анализа осуществляется путем использования упрощенной схемы, т.е. учитываются только потенциальные потребители результатов исследования.

6.1.1 SWOT-анализ

SWOT-анализ позволяет выявить и структурировать сильные и слабые стороны проекта, а также потенциальные возможности и угрозы

Вышеописанные категории сводятся в матрицу SWOT, которая приведены в таблице 3.

При построении матрицы SWOT и интерактивных матриц используются следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие.

Таблица 3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Повышение динамической устойчивости Саяно-Шушенской ГЭС за счет применения ПА управления. С2. Повышение надежности и «живучести» ЕЭС за счет внедрения комплекса ПА. С3. Проста и надежность функционирования разработанного алгоритма противоаварийной автоматики	Слабые стороны проекта: Сл1. Расчет дозировки управляющих воздействий произведен только для нормальной схемы электрических соединений Сл2. Неопределенность относительно сроков внедрения исследования
Возможности: В1. Гибкость в изменении уставок при смене балансовой ситуации В2. Возможность выполнить расчеты в короткие сроки при изменении схемно-режимной ситуации	В1С1С2С3 В2С1С2	– В2Сл1
Угрозы: У1. Появление более полноценного проекта У2. Появление более совершенных и дешевых видов ПА	У1С1С2 У2С1С2	У1Сл1 –

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

Таблица 4 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта			
		C1	C2	C3
	B1	+	+	+
	B2	+	+	0
	Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	
	B1	0	–	
	B2	+	–	

Таблица 5 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта			
		C1	C2	C3
	Y1	+	+	–
	Y2	+	+	–
	Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	
	Y1	+	–	
	Y2	–	–	

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 4 и 5, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности НТИ.

6.1.2 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для выбора метода коммерциализации результатов НТИ необходимо учитывать различные факторы, которые определяют данный проект:

- а) данное исследование проводилось по заданию АО «СО ЕЭС»;
- б) результатом научно-технического исследования является разработка функциональной схемы подсистемы ЛАПНУ – АРЗКЗ.

В ходе исследования были выполнены следующие виды работ:

- а) подготовка установившихся режимов;
- б) расчет электромеханических переходных процессов;
- в) разработка мероприятий по повышению динамической устойчивости генераторов электростанции (подсистема ЛАПНУ – АРЗКЗ).

Исходя из выше перечисленного, в качестве метода коммерциализации можно рассматривать следующие методы: торговлю патентными лицензиями, передача ноу-хау и инжиниринг.

Приведем характеристику каждого из методов.

Торговля патентными лицензиями заключается в передаче третьим лицам прав использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе.

Передача ноу-хау – предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау

Инжиниринг является самостоятельным видом коммерческих операций и предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

Анализируя каждый методом, можно сделать вывод, что в качестве метода коммерциализации необходимо использовать инжиниринг, в связи со следующими обстоятельствами:

- а) предоставление данных для проведения расчетов осуществляется заказчиком и носит конфиденциальный характер;
- б) разработанные функциональные схемы ПА являются типовыми, учитывающими особенности объекта, для которого они были спроектированы.

Полученный коммерческий эффект от НТИ возможно будет направить на разработку новейших видов ПА.

6.2 Инициализация проекта

Первоначально, рассматривая процессы инициализации проекта, фиксируют изначальные цели и содержание проекта, финансовые ресурсы. Также определяют внешние и внутренние заинтересованные стороны, взаимодействие которых определит общий результат проекта.

6.2.1 Цели и результаты проекта

В данном пункте приводится информация о заинтересованных сторонах проекта, их ожиданиях. Также прописаны цели и результаты проекта, критерии приемки результатов и требования к результату проекта.

В таблице 6 представлены заинтересованные стороны проекта, а также их ожидания от проекта.

Таблица 6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
АО «СО ЕЭС»	1 Расчет переходных режимов и динамической устойчивости генераторов Саяно-Шушенской ГЭС
	2 Создание алгоритма ПА для предотвращения нарушения устойчивости генераторов Саяно-Шушенской ГЭС
	3 Определение дозировки управляющих воздействий и уставок срабатывания пусковых органов спроектированной ПА

В таблице 7 прописаны цели и результаты проекта.

Таблица 7 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	1 Определение максимально допустимой суммарной загрузки станции без учета ПА 2 Создание алгоритма функционирования ПА для предотвращения нарушения устойчивости. Определение дозировки управляющих воздействий и уставок срабатывания органов ПА.
Ожидаемые результаты проекта:	Полученные в результате расчетов переходных электромагнитных процессов данные могут быть использованы для: 1 Определения принципа действия органов срабатывания ПА 2 Создания функциональных схем ПА 3 Определения уставок срабатывания пусковых органов ПА 4 Определения допустимого режима работы по критерию динамической устойчивости генерирующего оборудования электростанции без средств ПА
Критерии приемки результатов проекта:	Предложенные функциональные схемы ПАи должны удовлетворять требованиям, написанным в (п. 5)
	Выполнение расчетов электромеханических переходных процессов должно производиться в ПК, принятых для расчета переходных режимов и динамической устойчивости и утвержденных АО «СО ЕЭС»
Требования к результатам проекта:	Разработанные функциональные схемы ПА должны соответствовать требованиям, прописанным в (п.5)
	Стоимость проекта должна быть сопоставима по цене с аналогичными, или быть ниже
	Результаты проекта должны быть переданы только заказчику, так как являются коммерческой тайной предприятия-заказчика.

6.2.2 Организационная структура проекта

В данном пункте определяется состав, роли и функции участников проекта, что в свою очередь помогает избежать выполнения одинаковой работы и определить ответственных за соответствующие виды работ в проекте.

В таблице 8 приведена рабочая группа проекта и их трудозатраты.

Таблица 8 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
Михайленко Андрей Федорович АО «СО ЕЭС» Начальника СЭР АО «СО ЕЭС»	Руководитель проекта	Консультация по схемно-режимным ситуациям и средствам ПА в операционной зоне ОДУ Сибири.	176
Шестакова Вера Васильевна ТПУ Доцент, к.т.н. Кафедра ЭЭС ТПУ	Эксперт проекта	Консультирование по анализу переходных процессов, устройствам ПА.	32
Никитин Максим Александрович АО «СО ЕЭС» Специалист-стажер	Исполнитель по проекту	1 Подготовка установившихся режимов для расчета переходных процессов. 2 Расчет электромеханических переходных процессов. Определение максимально допустимой суммарной загрузки Саяно-Шушенской ГЭС без учета ПА. 3 Определение дозировки управляющих воздействий и уставок пусковых органов ПА для предотвращения нарушения устойчивости генераторов Саяно-Шушенской ГЭС 4 Составления функциональных схем разработанной ПА	728
ИТОГО:			936

6.2.3 Допущения и ограничения проекта

В данном пункте представлены ограничения и допущения проекта (таблица 9), определяющие сроки выполнения проекта, размер и источник финансирования.

Таблица 9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта	150 тыс. руб.
Источник финансирования	Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С. Непорожного»
Сроки проекта:	02 февраля 2017 г. – 31 мая 2017 г.
Дата утверждения плана управления проектом:	01 февраля 2017 г.
Дата завершения проекта	31 мая 2017 г.

6.3 Разработка графика проведения научно-технического исследования

Для распределения обязанностей по выполнению работ, а также определение рамок производимой работы составляется график проведения НТИ, который является одной из важнейших частей данного проекта.

При построении графика учитывается ряд факторов, особое внимание уделяется одному из основных – трудоемкости работы.

6.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Чаще всего основную часть стоимости разработки образуют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта является важным моментом.

Трудоемкость выполнения НТИ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ож\ i}$ определяется по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{min\ i} + 2 \cdot t_{max\ i}}{5}, \quad (6.3.1.1)$$

где $t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p определяется из ожидаемой трудоемкости работ, учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{p\ i} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (6.3.1.2)$$

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

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

6.3.2 Разработка графика выполнения научно-технического исследования

В качестве графика НТИ используется диаграмма Ганта.

Диаграмма Ганта – ленточная диаграмма, имеющая две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. Диаграмма Ганта используется для визуальной иллюстрации плана, графика работ по какому-либо проекту.

Диаграмма Ганта состоит из отрезков, размещенных на горизонтальной шкале времени, каждый из которых соответствует отдельной задаче или подзадаче. Задачи и подзадачи, составляющие план, размещаются по вертикали. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности выполнения данных работ.

Результаты расчетов сводим в таблицу И.1 (Приложение И). По результатам расчета продолжительности работ строим диаграмму Ганта, которая представлена на рисунке И.1 (приложение И).

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 96 рабочих дней. Учитывая вероятностный

характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть, как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

По диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя. Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 96 рабочих дней. Из них:

- а) 91 дня – продолжительность работы исполнителя;
- б) 22 дней – продолжительность работы руководителя;
- в) 4 дня – продолжительность работы эксперта.

6.4 Составление сметы на выполнение научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- а) материальные затраты НТИ;
- б) затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- в) полная заработная плата исполнителей темы;
- г) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- д) затраты научные и производственные командировки;
- е) контрагентные расходы;
- ж) накладные расходы.

Материальные затраты, данного проекта, включают в себя затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Согласно нормативным документам Томского Политехнического Университета, данные материальные затраты учитываются в статье накладных расходов. Для реализации данного

проекта не требуется никакого специального оборудования, поэтому расчет статьи материальных затрат не производится. Величина материальных затрат будет указываться как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

6.4.1 Полная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется действующей системой окладов и тарифных ставок исходя из трудоемкости выполняемых работ.

Полная заработная плата $Z_{ЗП}$ рассчитывается по формуле:

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6.4.1.1)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-15 % от основной заработной платы), руб.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ исполнителя рассчитывается, используя следующую формулу:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (6.4.1.2)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата $Z_{дн}$ составляет:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{тс} + Z_{допл} + Z_{р.к.}}{F_d}, \quad (6.4.1.3)$$

где $Z_{допл}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{p.k.}$ – доплата, учитывающая районное регулирование, руб.;

F_d – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб.дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Оклад	Районное регулирование	Месячная ЗП	Среднедневная ЗП	Длительность работ	Основная ЗП
	руб.	руб.	руб.	руб.	раб. дн.	руб.
Руководитель	38800	–	38800	1763	22	38780
Исполнитель	7841	2364	10205	392	91	35670
Эксперт	26800	8040	34840	1340	4	5360
Итого основная ЗП, руб.						79810

Расчета основной заработной платы исполнителя:

$$Z_{p.p.} = 7841 \cdot 0,3 = 2364 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{мес. ЗП}} = 7841 + 2364 = 10205 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{ср. дн.}} = \frac{10205}{26} = 392 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 392 \cdot 91 = 35670 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы эксперта выполняется аналогично.

Расчета основной заработной платы руководителя:

$$Z_{\text{мес. ЗП}} = 38800 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{ср. дн.}} = \frac{38800}{22} = 1763 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1763 \cdot 22 = 38780 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата составляет 10 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэф. Доп. ЗП	Основная ЗП	Дополнительная ЗП	Полная ЗП
	-	руб.	руб.	руб.
Руководитель	0,15	38780	5820	44600
Исполнитель	0,13	35670	4730	40400
Эксперт	0,12	5360	640	6000
Итого основная ЗП, руб.			11090	91000

6.4.2 Отчисления во внебюджетные страховые фонды

В статье внебюджетных страховых фондов 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 $Z_{\text{неб}}$ рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{неб}} = k_{\text{неб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (6.4.2.1)$$

где $k_{\text{неб}}$ – ставка отчислений во внебюджетные фонды;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника, руб.;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{неб}} = 0,302 \cdot 91000 = 27500 \text{ руб.}$$

6.4.3 Накладные расходы

Прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов, учитываются в статье накладных расходов: оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, печать и ксерокопирование материалов исследования, размножение материалов и т.д.

Величину коэффициента накладных расходов берется в размере 16%.

6.5 Формирование сметы на выполнение технического проекта

Основой для формирования бюджета затрат технического проекта является расчетная величина затрат проекта. При заключении договора с

заказчиком, данный бюджет защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку данного проекта.

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Смета НТИ

Наименование статьи	Сумма	Доля
	тыс. руб.	%
Материальные затраты НТИ	-	-
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	-	-
Затраты на полную заработную плату исполнителей темы	91	62,8
Отчисления во внебюджетные фонды	30,8	21,2
Накладные расходы	23,2	16,0
Бюджет затрат НТИ	145,0	100,0

Анализируя смету технического проекта, можно сказать, что затраты на реализацию технического проекта составят 145,0 тысячи рублей, из которых значительную часть (62,8%) составляют затраты на полную заработную плату исполнителей проекта. Снижение общих затрат на реализацию проекта можно добиться, пересмотрев продолжительность и объем выполнения работ.

6.6 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта оценивается с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности I_{pi} :

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i \quad (6.5.1)$$

где a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
Надежность	0,25	5
Удобство эксплуатации	0,20	5
Безопасность	0,15	4
Экономичность	0,15	4
Гибкость	0,25	5
Итого:	1,00	4,7

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 = 4,7$$

Для расчета сравнительной оценки использовались следующие критерии: надежность, удобство эксплуатации, безопасность, экономичность и гибкость. Анализ технического проекта показывает, что наиболее приоритетными критериями являются надежность и гибкость. Приоритетные критерии, имеющие наибольший весовой коэффициент, получили максимальную балльную оценку, что позволяет судить о правильности выполнения проекта.

Список публикаций студента

Год публикации	Наименование	Название издания
2016	Измерение коэффициента демпфирования в сетях среднего напряжения с компенсированной нейтралью	Труды XI Международной молодежной научной конференции "Тинчуринские чтения"
2016	Измерение коэффициента демпфирования в сетях среднего напряжения с компенсированной нейтралью	Труды XI Международной молодежной научной конференции "Тинчуринские чтения" программы "Молодежная секция РНК СИГРЭ"