

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



Институт ЭНИН
Направление подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра Электроэнергетических систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Обоснование и исследование математического моделирования автоматического регулирования частоты и мощности турбогенератора
УДК 621.313.322-81.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ4Б	Бородин Алексей Алексеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гусев А.С.	Д.Т.Н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Извеков В.Н.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О.	К.Т.Н., доцент		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Совершенствовать 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	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать 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	Использовать 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	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование 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	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования, оборудования для научно-экспериментальных исследований.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию 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.

¹ Указаны коды компетенций по ФГОС (направление 140400 – Электроэнергетика и электротехника), утвержденному Приказом Министерства образования и науки РФ 08.12.2009 г.

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



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

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ЭЭС
 _____ А.О. Сулайманов

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ4Б	Бородин Алексей Алексеевич

Тема работы:

Обоснование и исследование математического моделирования автоматического регулирования частоты и мощности турбогенератора	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	27.01.2016 №432/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является математическая модель первичного двигателя турбогенератора. Исходные данные: 1. рекомендуемая техническая литература 2. инструкция по применению инструментов исследования: программно-технический комплекс ВМК РВ ЭЭС и ПВК Mustang 3. Исследуемая схема энергосистемы с исследуемым турбогенератором и ее параметрами</p>
---	---

<p>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).</p>	<p><i>Обоснование и исследование математической модели первичного двигателя турбогенератора, которая включает в себя модель котлоагрегата, паровой турбины и автоматической системы регулирования частоты и мощности.</i></p> <p><i>Разработка программы и методики исследований, влияние зоны нечувствительности и коэффициента статизма первичного двигателя турбогенератора на процессы регулирования частоты и мощности.</i></p> <p><i>Анализ влияния адекватной математической модели первичного двигателя турбогенератора на процессы регулирования частоты и мощности, существенное влияние задания конкретных значений параметров: коэффициента статизма и зоны нечувствительности на воспроизведение процессов регулирования частоты и мощности. Анализ экспериментальных исследований математической модели турбогенератора процессов изменения частоты и мощности.</i></p> <p><i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность.</i></p> <p><i>Выводы по проделанной работе.</i></p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Графический материал в приложениях отсутствует, так как все схемы и осциллограммы приведены в третьем разделе магистерской диссертации</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Извеков Владимир Николаевич</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Грахова Елена Александровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Введение, обзор литературы, объект и методы исследования, расчеты и аналитика, результаты проведенного исследования, финансовый менеджмент, социальная ответственность, заключение написано на русском языке.</p>	
<p>В магистерской диссертации указано приложение на иностранном языке.</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>20.01.2016</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гусев Александр Сергеевич	д.т.н.		20.01.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ4Б	Бородин Алексей Алексеевич		20.01.2016

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



Институт ЭНИН
 Направление подготовки (специальность) Электроэнергетика и электротехника
 (Автоматика энергосистем)
 Уровень образования магистр
 Кафедра ЭЭС
 Период выполнения _____ (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.2016 г.	Обзор литературы	4
24.02.2016 г.	Объект и методы исследования	6
15.03.2016 г.	Изучение программного обеспечения	6
02.04.2016 г.	Разработаны и проведены экспериментальные исследования обоснованной математической модели на ВМК РВ ЭЭС	7
16.04.2016 г.	Разработаны и проведены экспериментальные исследования в программе ПВК Mustang	7
25.04.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	4
10.05.2016 г.	Социальная ответственность	4
22.05.2016 г.	Оформление работы	2

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гусев А.С.	д.т.н.		20.01.2016

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О.	к.т.н., доцент		20.01.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа, состоящая из 140 страниц, 78 рисунков, 25 таблиц, 47 формул, 37 источников, одного приложения.

Ключевые слова: адекватная математическая модель, первичный двигатель турбогенератора, автоматическое регулирование частоты и мощности, верификация математической модели, передаточная функция, коэффициент статизма, зона нечувствительности.

Объектом исследования является математическая модель первичного двигателя турбогенератора.

Цель работы – обосновать и исследовать математическую модель первичного двигателя турбогенератора

В процессе исследования проводился аналитический обзор литературных источников по тематике исследования, также обоснование адекватной математической модели первичного двигателя турбогенератора, разработка программы исследований математического моделирования автоматического регулирования частоты и мощности турбогенератора, разработка и проведение программных сценариев для экспериментальных исследований на ВМК РВ ЭЭС процессов автоматического регулирования частоты и мощности турбогенератора, разработка и проведение программных сценариев в программе ПВК Mustang.

Степень внедрения. Полученные результаты подтверждают научно-практическую ценность магистерской диссертации. Проведенные эксперименты подтверждают предположения ранее проведенных исследований о существенном влиянии задания конкретных значений зоны нечувствительности и коэффициента статизма при воспроизведении процессов.

Область применения. Энергетика. Энергосистемы крупных предприятий. Энергетические компании. Генерирующие компании, проектные, научно-исследовательские организации и ВУЗы с электроэнергетическим профилем.

Значимость работы. Использование адекватной математической модели первичного двигателя турбогенератора, позволит избежать большего

количества аварий, так как в данной модели будут учтены все элементы со своими постоянными времени, диспетчеры будут получать необходимую информацию для эксплуатации и исследования ЭЭС при нормальных или аварийных режимах.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

АИР – автоматическая импульсная разгрузка;

АРЧМ – автоматическое регулирование (регулятор) частоты и мощности;

ВМК РВ ЭЭС – всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетической системы;

ГИМ – гидравлический исполнительный механизм;

ДПНУ – динамическая панель наблюдения и управления;

ЕЭС – единая энергетическая система;

ЖОС – жесткая обратная связь;

КПД – коэффициент полезного действия;

МИЧВ – механизм изменения частоты вращения;

МУТ – механизм управления турбиной;

ПП – пароперегреватель;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

РЗаА – релейная защита и автоматика;

САР – система автоматического регулирования;

СМНР – система мониторинга переходных режимов;

СНиП – строительные нормы и правила;

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

ЦВД, ЦСД, ЧНД – цилиндр высокого, среднего и низкого давлений;

ЦСПУ – централизованная система противоаварийного управления;

ЧВД, ЧСД, ЧНД – часть высокого, среднего и низкого давлений;

ЭГП – электрогидравлическая приставка;

ЭМП – электромагнитное поле;

ЭЭС – электроэнергетическая система;

SWOT – strengths weaknesses opportunities threats;

WAMS – wide area measurement system.

Оглавление

Введение.....	11
1. Обзор литературы	17
2. Обоснование математической модели первичного двигателя турбогенератора	21
2.1. Математическая модель котлоагрегата	23
2.2. Математическая модель паровой турбины и автоматической системы регулирования частоты и мощности	30
3. Экспериментальные исследования обоснованной математической модели первичного двигателя турбогенератора	45
3.1. Исследование адекватности математической модели при воспроизведении процессов в исходном квазиустановившемся режиме ...	48
3.2. Исследование процессов изменения частоты и мощности при сбросе нагрузки и среднестатистических значениях параметров	49
3.3. Исследование процессов изменения частоты и мощности при набросе нагрузки и среднестатистических значениях параметров	63
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	80
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	81
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	81
4.1.2. SWOT-анализ.....	82
4.2. Планирование этапов и выполнение работ проводимого научного исследования	87
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	87
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	89
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	90
4.3. Расчет бюджета для научно-технического исследования	94

4.4. Определение целесообразности и эффективности научного исследования	102
4.4.1. Анализ и оценка научно-технического уровня проекта	102
4.4.2. Оценка важности рисков	103
5. Социальная ответственность	107
5.1. Описание рабочего места	107
5.2. Законодательные и нормативные документы	108
5.3. Анализ выявленных вредных факторов	109
5.3.1. Физико-химическая природа вредности.....	109
5.3.2. Влияние электрических полей на персонал	110
5.3.3. Освещение	111
5.3.4. Шум и вибрация	116
5.4. Допустимые нормы.....	118
5.5. Предполагаемые средства защиты	119
5.6. Анализ выявленных опасных факторов	120
5.6.1. Термическая опасность	120
5.6.2. Электробезопасность	120
5.6.3. Пожаровзрывобезопасность.....	122
5.7. Экологическая безопасность. Факторы воздействия на окружающую среду	123
5.8. Возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС). Причины аварий на станциях	124
Заключение	126
Список литературы	128

Приложение А

Введение

Ввиду известной специфики современных электроэнергетических систем (ЭЭС), получение всей необходимой информации для проектирования, исследования и эксплуатации ЭЭС о процессах в оборудовании и энергосистеме целом при всевозможных нормальных аварийных, послеаварийных режимах работы, можно получить только путем математического моделирования.

Стоит отметить следующий факт, в последние десятилетия в крупных энергосистемах мира увеличилось число тяжелых энергетических аварий, связанных с нарушением статической и динамической устойчивости, с разделением системы на несинхронно работающие части, с отключением большого количества потребителей электроэнергии, в итоге все это приводит к огромным финансовым потерям. Особенность таких аварий, такие аварии имеют каскадный характер, то есть ошибка оператора (персонала) или поломка устройства влечет за собой нарушение нормальной работы элементов, которые непосредственно находятся рядом с поврежденными. Выявили статистику причин тяжелых энергетических аварий:

- Климатические условия – 10 %;
- поломка устройств – 40 %;
- ошибка оператора – 25 %;
- неправильная установка РЗА – 25 %.

Таким образом, человеческий фактор является основной причиной возникновения тяжелой энергетической аварии. Тяжелейшие последствия системных аварий выдвигают в качестве одной из основных важнейших научно-исследовательских задач энергетики разработка методов анализа этих аварий, процессы развития аварии, способы прогнозирования, и в конечном итоге технических средств по их локализации и предупреждению. Главная причина неправильных действий РЗА и оперативного персонала –

использование при проектировании и эксплуатации недостаточно полной и достоверной информации о процессах.

Ввиду вышесказанного математическая модель должна быть адекватной для корректного моделирования. При наличии такой модели нужно обеспечить ее решение с гарантированной точностью и быстродействием.

Таким образом, получение полной и достоверной информации определяются следующими факторами:

1. Адекватностью математических моделей всех значимых элементов, образующих совокупную модель ЭЭС;

2. Способностью средств решения совокупной математической модели ЭЭС обеспечивать его реализацию с необходимой точностью и оперативностью.

Следовательно, полнота и достоверность моделирования, прежде всего определяется адекватностью, используемых математических моделей всего значимого оборудования ЭЭС, в том числе турбоагрегатами при их наличии в ЭЭС.

Процессы, протекающие в турбоагрегате, в значительной мере определяются его первичным двигателем, состоящим из котлоагрегата, паровой турбины и системы автоматического регулирования частоты и мощности.

В рамках данной исследовательской работы, поставлены задачи обоснования и исследования математической модели первичного двигателя турбогенератора. Основной задачей является грамотное моделирование первичного двигателя. Был проведен анализ состава элементов структурных схем паровой турбины, котлоагрегата и автоматического регулятора частоты и мощности (АРЧМ). Каждая структурная схема состоит из звеньев, в свою очередь звено описывается соответствующей передаточной функцией. Математическая модель паровой турбины, котла и АРЧМ это совокупность передаточных функций, которые объединяются в структурную схему, имеющую определенное решение. Соответственно, если в совокупности каждый элемент воспроизведен достаточно адекватно, у каждого элемента своя

постоянная времени, учитывающая динамику процессов, проходящих в них, значит в целом математическая модель будет адекватной, и соответственно будет обеспечивать достоверное воспроизведение процессов, связанных с регулированием первичного двигателя.

Процессы турбогенератора, на которые влияет первичный двигатель:

1. загруженность генератора с учетом текущей нагрузки;
2. регулирование.

Для достижения поставленной цели в рамках данной работы поставлены и решены следующие задачи:

1. Выполнение аналитического обзора литературных источников по теме исследований;
2. Обоснование адекватной математической модели первичного двигателя турбогенератора;
3. Разработка программы исследования математического моделирования автоматического регулирования частоты и мощности турбогенератора.

Проблемы исследования:

1. Проблема воспроизведения непрерывного спектра квазиустановившихся и переходных процессов с гарантированной достоверностью на неограниченном интервале.
2. Проблема оптимальной настройки автоматического регулятора частоты вращения первичного двигателя турбоагрегата.

Методы исследования:

1. Комплексный подход решения проблем, представляющий собой в широком смысле гибридное моделирование ЭЭС. Применение методически точного неявного непрерывного интегрирования дифференциальных уравнений с гарантированной приемлемой инструментальной точностью.
2. Экспериментальные методы исследования, подтверждающие адекватность математической модели.

В ходе выполнения магистерской диссертации необходимо, не только обосновать, но и исследовать математическую модель первичного двигателя

турбогенератора. Сложность исследования заключается в правильном выборе математической модели первичного двигателя турбогенератора. Упрощение математической модели приводит к недостоверному воспроизведению процессов, которые происходят в ЭЭС.

Одной из первых серьезных попыток верификации математической модели энергосистемы по данным WAMS (Wide Area Measurement System – системы мониторинга переходных режимов) считается верификация математической модели Западной энергосистемы США, в которой 10 августа 1986 года в Западной энергосистеме США произошла крупная авария с разделением синхронно работающей энергосистемы на четыре отдельных района и отключением более 30 ГВт нагрузки (7,5 миллиона потребителей) [26]. Для поиска причин возникновения аварии и разработки мероприятий по предотвращению подобных инцидентов в будущем была создана модель Западной энергосистемы. Проверка правильности моделирования производилась с помощью информации, которая была получена от системы WAMS [25].

Из рисунка 1 видно, что полученные с помощью цифрового моделирования изменения режимных параметров далеки от реально зарегистрированных в ходе аварии режимных параметров, и математическая модель не позволяет воспроизвести имевшую место аварию даже качественно.

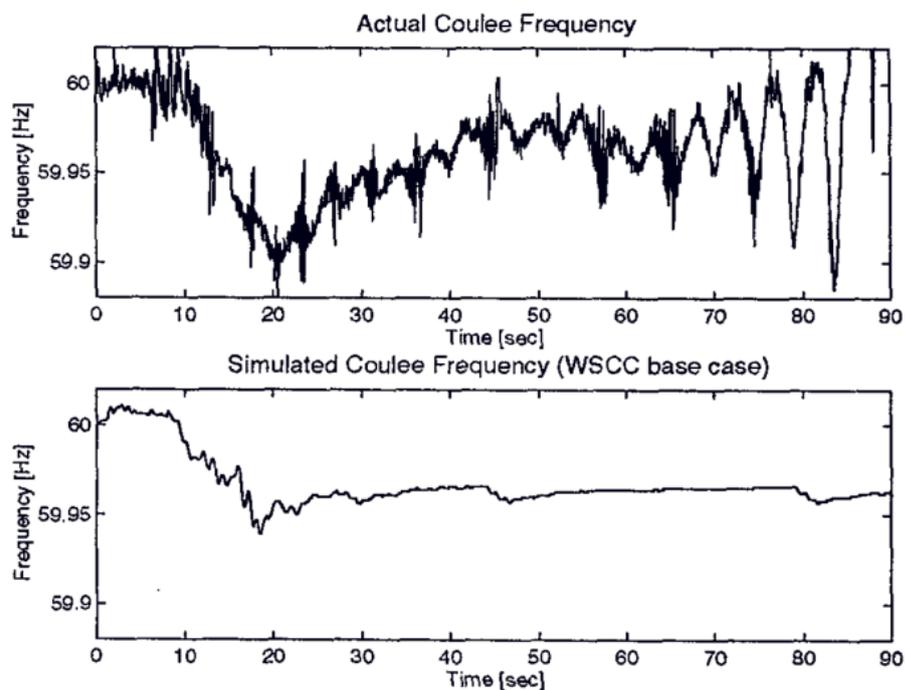


Рисунок 1 – Изменение частоты вращения ротора генератора станции «Grand Coulee» при разделении синхронно работающей энергосистемы на четыре отдельных района и отключении более 30 ГВт нагрузки в реальности (сверху) и в результате цифрового моделирования аварии (снизу)

С целью улучшения характеристик модели системы были выполнены уточнения моделей ее элементов, а именно:

- уточнены параметры и характеристики турбин и котлов;
- уточнены параметры системы АРЧМ (коэффициент статизма, зона нечувствительности).

На рисунке 2 приведен результат сопоставительных расчетов, которые были выполнены в скорректированной модели. Из рисунка видно, что с помощью вышеуказанной коррекции удалось добиться качественного совпадения между реальными и моделируемыми процессами.

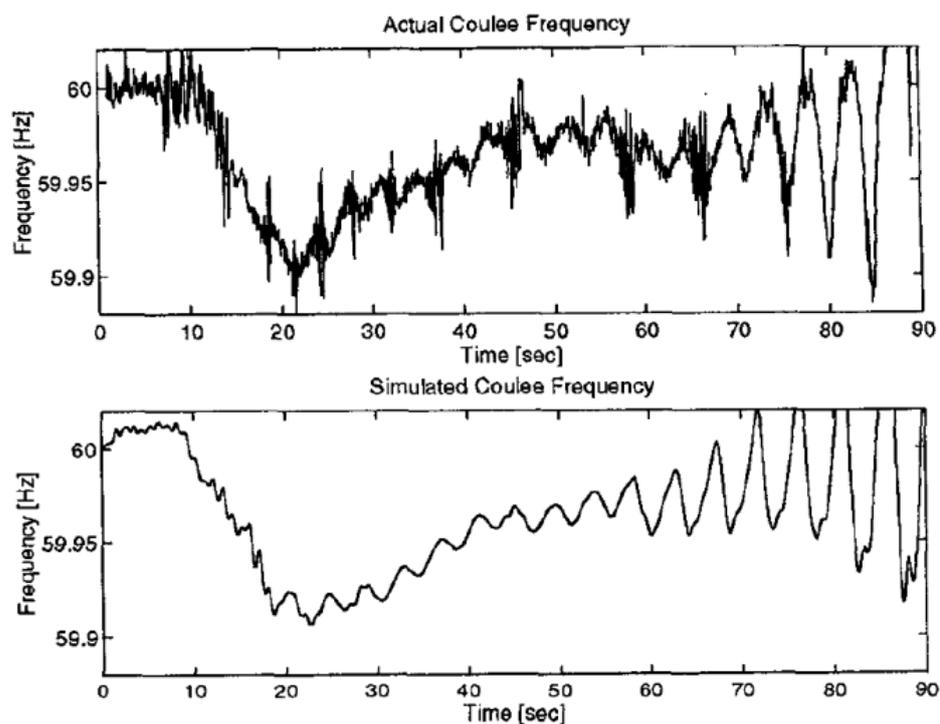


Рисунок 2 – Изменение частоты вращения ротора генератора станции «Grand Coulee» при разделении синхронно работающей энергосистемы на четыре отдельных района и отключении более 30 ГВт нагрузки в реальности (сверху) и в результате цифрового моделирования аварии (снизу)

Для подтверждения необходимости использования обоснованной математической модели, исследования выполнены с помощью ПК Mustang, в котором применяется отличная от обоснованной математическая модель, и с помощью ВМК РВ ЭЭС в котором используется нижеописанная математическая модель первичного двигателя турбогенератора с учетом специфики энергоносителя. Как говорилось ранее, неправильный учет параметров системы АРЧМ, может привести к недостоверному воспроизведению процессов. В ходе данного исследования акцент сделан на влияние регулирования коэффициента статизма и зоны нечувствительности, при возникновении возмущений, влияющих на процессы регулирования частоты и мощности первичного двигателя турбогенератора.

1. Обзор литературы

В настоящее время на переменном токе выполняется все производство, практически все распределение и значительная часть потребления электроэнергии в энергосистемах общего назначения. Главные параметры переменного тока – частота, форма и величина кривой напряжения. На данный момент в мире сохранилось только два стандартных значения частоты для систем электроснабжения общего назначения – 50 Гц (Россия, Западная Европа) и 60 Гц (США, Япония, Канада). Соответственно в процессе эксплуатации параметры переменного тока изменяются. Чем ближе значения параметров поддерживаются к расчетным для оборудования номинальным значениям, тем ближе режим относится к оптимальному. Отсюда следует данные показатели – частота, форма и величина кривой напряжения, определяют качество продукции – электроэнергии. Частота – существенный качественный показатель электрической энергии. Поддержание частоты на определенном уровне необходима для удовлетворительной работы потребителей. Частота в ЕЭС России должна строго находиться в определенных рамках, согласно ГОСТ 131109-87 частота поддерживается на уровне $f = 50 \pm 0,1$ Гц. Разрешается кратковременная работа с отклонениями частоты до $\Delta f = \pm 0,2$ Гц. Жесткие требования в поддержании частоты можно объяснить тем, что частота переменного тока связана с частотой вращения агрегатов, которые преобразуют как механическую энергию в электрическую, так и электрическую энергию в механическую. Даже незначительное изменение частоты вращения, существенно влияет на режим работы вращающихся агрегатов. Паровая турбина – пример механизма, предъявляющий жесткие требования к точности поддержания частоты вращения, а именно лопатки паровой турбины. Лопатки представляют колебательную систему, в которой при возникновении определенной частоты может возникнуть резонанс частот. При длительной продолжительности времени резонанса может произойти поломка лопаток паровой турбины. Решением данной проблемы является

отстройка вибрационных характеристик от возможности резонанса, но данная отстройка с большим запасом для всех ступеней турбины практически невозможна, поэтому необходимо ограничить изменение частоты вращения определенными узкими пределами.

Частота является не только показателем качества электроэнергии, но и важным параметром режима энергосистемы. Характер производства электроэнергии – непрерывность процесса, отсутствие возможности запастись энергией и непрерывное изменение потребления – требует также непрерывного контроля за соответствием производства и потребления. Частота напрямую связана с активной мощностью, она определяется общим балансом генерируемой и потребляемой активной мощности. При соблюдении баланса мощности частота остается без изменений, при появлении небаланса мощности, возникает переходный процесс изменения частоты. По направлению и скорости изменения частоты можно определить знак и величину небаланса активной мощности, который возник в энергосистеме. При уменьшении частоты в энергосистеме ее необходимо восстановить до нормального уровня, при этом нужно увеличить активную мощность, вырабатываемую на электростанциях, в противном случае – уменьшаем активную мощность. Следует отметить, что поддержание частоты на заданном уровне и соблюдение баланса активной мощности является актуальной задачей на сегодняшний день.

Стоит отметить следующий факт, в последние десятилетия в крупных энергосистемах мира увеличилось число тяжелых энергетических аварий, связанных с нарушением статической и динамической устойчивости, с разделением системы на несинхронно работающие части, с отключением большого количества потребителей электроэнергии, в итоге все это приводит к огромным финансовым потерям. Особенность таких аварий, такие аварии имеют каскадный характер, то есть ошибка оператора (персонала) или поломка устройства влечет за собой нарушение нормальной работы элементов, которые непосредственно находятся рядом с поврежденными.

Современные ЭЭС, если рассматривать как объект изучения очень сложен как по количеству элементов, так и по количеству представленных в них зависимостей, поэтому при изучении явлений значимую ценность представляет проведение натуральных физических экспериментов с реальным оборудованием. Вместе с тем огромная энергоемкость и значительные затраты на проведение таких экспериментов позволяют проводить исследования достаточно редко. В связи с этим возможным способом проведения исследований ЭЭС рассматривают применение различных методов и способов, изучаемых теорией подобия и моделирования. В настоящее время наиболее быстро и доступно ответы на возникшие вопросы могут быть найдены путем решения задач математического моделирования. Математическое моделирование, это способ исследования реальных событий, процессов, систем, который основывается на изучении их математических моделей с помощью цифровых машин.

Сложность исследования заключается в правильном выборе математической модели первичного двигателя турбогенератора. Так как упрощение математических моделей приведет к недостоверному воспроизведению процессов, которые происходят в ЭЭС. Энергосистема весьма сложный объект, каждый элемент энергосистемы можно описать передаточной функцией, передаточную функцию можно преобразовать в дифференциальное уравнение, которое сводится к решению интеграла. Таким образом, решение интеграла сопровождается неизвестной методической ошибкой, отсюда следует потеря достоверности результатов моделирования, которые подтверждаются результатами верификации, произведенными в США, России. В результате анализа причин значительное влияние оказало недостаточно детальное составление математических моделей, недостоверное получение подробной информации об электрическом режиме энергосистемы (сбор информации о параметрах силового оборудования, систем регулирования, которые функционировали в данном режиме).

Уровень решения. В проведении верификации Западной энергосистемы США применялась система мониторинга переходных режимов (СМПР). Одним из направлений технологического развития энергосистем в мире, обеспечивающих повышение емкости и стабильности сетей электропередач, является создание и внедрение WAMS-систем.

WAMS-системы (СМПР) обеспечивают синхронизированные по времени измерения параметров, характеризующих режим работы энергосистемы в различных ее точках с высокой дискретностью. Этот объем данных позволяет:

- наблюдать переходные процессы в энергосистеме;
- оценивать текущие режимы работы всей энергосистемы;
- эффективно анализировать причины и последствия технологических нарушений и системных аварий;
- проверить и уточнить динамическую модель энергосистемы;
- более точно настроить автоматику защиты.

Всё вышеперечисленное позволяет повысить уровень информационного обеспечения диспетчерского управления, что обеспечит рост качества управления режимами энергосистем и общей эффективности работы последней [35].

Для исследования математической модели первичного двигателя турбогенератора будет использоваться всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС). Комплекс предназначен для анализа нормальных и аварийных режимов ЭЭС, настройки, проверки и модернизацию устройств РЗ и т.д. В России аналогов всережимного моделирующего комплекса нет, данный комплекс предназначен для изучения процессов, происходящих в сложных электрических сетях, проведения различных расчетов (как установившихся, так и переходных режимов энергосистем) на новом качественном уровне [36].

2. Обоснование математической модели первичного двигателя турбогенератора

Общие положения концепции адекватного моделирования ЭЭС содержат условия решения данной проблемы и необходимую для их выполнения совокупность мероприятий:

1. Основополагающими при решении данной проблемы являются:

— использование для всех моделируемых элементов ЭЭС математических моделей с полноценным учетом основного и вспомогательного оборудования, полно и достоверно воспроизводящих реальный непрерывный спектр процессов в этом оборудовании при различных режимах его работы;

— осуществление в реальном времени с необходимой точностью непрерывного решения совокупной математической модели ЭЭС в течение времени протекания значимых всевозможных процессов в оборудовании и ЭЭС в целом, которое в общем случае следует считать неограниченным.

2. Для выполнения всех условий решения проблемы адекватного моделирования ЭЭС, исключающих необходимость принципиально значимых упрощений и ограничений, создаются и объединяются обеспечивающие эти условия средства.

3. Средства моделирования ЭЭС создаются и применяются согласно принципу естественной адекватности их методической и инструментальной основы соответствующим аспектам решаемой проблемы.

4. Теоретической основой для параллельного объектного моделирования ЭЭС являются всережимные математические модели для всех значимых элементов ЭЭС и способ непрерывного неявного методически точного решения жестких нелинейных систем дифференциальных уравнений этих моделей.

5. При создании и объединении необходимых для решения поставленных задач средств моделирования ЭЭС предусматривается обеспечение этими

средствами современных и перспективных профессионально ориентированных, автоматизированных и автоматических информационно-управляющих возможностей, необходимых для эффективного решения задач проектирования, исследования и эксплуатации ЭЭС.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Темой научно-технического исследования является обоснование и исследование математической модели первичного двигателя турбогенератора. Проведение исследования предполагает использование специализированного программно-технического комплекса (ВМК РВ ЭЭС) и основано на построении математической модели рассматриваемого участка производства.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации [13].

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку ресурсной и экономической эффективности исследования.

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Современные ЭЭС, если рассматривать как объект изучения очень сложен как по количеству элементов, так и по количеству представленных в них зависимостей, поэтому при изучении явлений значимую ценность представляет проведение натуральных физических экспериментов с реальным оборудованием. Вместе с тем огромная энергоемкость и значительные затраты на проведение таких экспериментов позволяют проводить исследования достаточно редко. В связи с этим возможным способом проведения исследований ЭЭС рассматривают применение различных методов и способов, изучаемых теорией подобия и моделирования. В настоящее время наиболее быстро и доступно ответы на возникшие вопросы могут быть найдены путем решения задач математического моделирования. Математическое моделирование, это способ исследования реальных событий, процессов, систем, который основывается на изучении их математических моделей с помощью цифровых машин.

Сложность исследования заключается в правильном выборе математической модели первичного двигателя турбогенератора. Так как упрощение математических моделей приведет к недостоверному воспроизведению процессов, которые происходят в ЭЭС. Каждый элемент математической модели описывается передаточной функцией, в свою очередь передаточную функцию можно записать в виде дифференциального уравнения, а решение дифференциального уравнения сводится к решению интеграла. Решение сопровождается неизвестными методическими ошибками, отсюда следует потеря достоверности результатов моделирования, которые подтверждаются результатами верификации, произведенными в США, России. Результаты верификации не удовлетворили результаты моделирования, в результате анализа причин значительное влияние оказало недостаточно

детальное составление математических моделей, недостоверное получение подробной информации об электрическом режиме энергосистемы (сбор информации о параметрах силового оборудования, систем регулирования, которые функционировали в данном режиме).

В рамках настоящего научного исследования предлагается разработанный на базе НИЛ «Моделирование ЭЭС» ЭНИН ТПУ Всережимный моделирующий комплекс электроэнергетических систем, представляющий собой специализированную микропроцессорную программно-техническую систему реального времени гибридного типа, на котором осуществляется моделирование необходимых для анализа режимов и процессов. Данное программное обеспечение обеспечивает необходимую достоверность результатов, высокую скорость выполнения работы, наглядность, а также доступный пользовательский интерфейс. Программа позволяет воспроизвести процессы, происходящие в реальных электроустановках при их эксплуатации, основываясь на построении адекватных математических моделей, что впоследствии является основой для принятия правильного технического решения и позволяет свести к минимуму экономические издержки того или иного производства.

Основными потребителями подобных исследований могут быть:

- крупные нефтехимические производства;
- объединенные диспетчерские управления;
- легкая и тяжелая промышленность;
- электростанции различного типа,

а также другие виды производств, связанные с эксплуатацией мощных потребителей электрической энергии, влияющих на процесс производства.

3.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для проведения комплексного анализа проводимого исследования выделим несколько этапов:

1. Описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта.

Таблица 1 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Принципиально новая методика проведения исследования 2. Универсальность применения разрабатываемых математических моделей 3. Наличие опытного научного-руководителя 4. Актуальность проводимого исследования 5. Обширная сфера применения 	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Требуется уникального оборудования 2. Возможность появления новых методов 3. Отсутствие повсеместного внедрения новой методики 4. Требуется тщательного сбора исходных данных 5. Многоэтапность методики
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность создания партнерских отношений с рядом исследовательских институтов 2. Большой потенциал применения метода математического моделирования динамических процессов 	<p>Актуальность разработки, опытный руководитель и принципиально новая методика дает возможность сотрудничать с рядом ведущих исследовательских институтов;</p> <p>Большой потенциал применения методики, а так же возможность выхода на внешний рынок обуславливаются принципиально новой методикой;</p> <p>Рост потребности в обеспечении безопасности</p>	<p>Возможность наличия партнерских отношений с исследовательскими институтами для взаимного использования уникального оборудования;</p> <p>Отсутствие повсеместного внедрения новой методики обеспечивает большой потенциал применения метода математического моделирования динамических процессов</p>

<p>3. Большая стоимость конкурентных разработок и сложность их использования</p> <p>4. Возможность выхода на внешний рынок</p> <p>5. Рост потребности в обеспечении безопасности технологического процесса и сокращения экономических издержек</p>	<p>технологического-производственного процесса и сокращения экономических издержек возможен за счет принципиально новой методики;</p> <p>За счет новизны и принципиальных отличий возможен выход на большие объемы применения данной методики.</p>	
<p>Угрозы:</p> <p>1. Отсутствие спроса на новые программные продукты в исследуемой сфере</p> <p>2. Развитая конкуренция в сфере математического моделирования технологических процессов крупных производств</p> <p>3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования</p> <p>4. Захват внутреннего рынка иностранными компаниями</p> <p>5. Малые скорости внедрения разрабатываемого ПО</p>	<p>Универсальность применения разрабатываемых математических моделей и обширная сфера применения программного комплекса минимизируют влияния развитой конкуренции в обозначенной сфере</p> <p>Актуальность проводимого исследования и наличие опытного научного руководителя в сочетании с принципиально новой методикой проведения работ обеспечивают стремительный выход на внутренний рынок</p>	

2. Выявление соответствия сильных и слабых сторон научно – исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Таблица 2 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	0	0	+	+	0
	B3	+	-	-	-	-
	B4	+	+	0	+	+
	B5	+	0	-	+	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C1C2C3C4C5, B2C3C4, B3C1, B5C1C4.

Таблица 3 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	-	-	0	0
	B2	0	0	+	-	-
	B3	-	0	0	-	-
	B4	-	0	-	-	-
	B5	0	-	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл1, B2Сл3.

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	0	0	-	-
	У2	0	+	0	0	+
	У3	0	0	0	0	0
	У4	+	0	+	+	+

	У5	-	-	0	0	0
--	----	---	---	---	---	---

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: У2С2С5,У4С1С3С4С5.

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Угрозы проекта проекта	У1	-	0	-	0	-
	У2	-	-	0	-	-
	У3	-	0	0	0	0
	У4	0	-	-	-	-
	У5	-	-	0	0	0

Коррелирующие слабые стороны и угрозы не выявлены.

Вывод: заявленная методика имеет большой потенциал, широкий круг потенциальных потребителей, а также возможность быстрого выхода на внешний рынок.

3.2 Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования

3.2.1 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 графика проведения научных исследований.

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.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание исследовательской части работ	Содержание технической части работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Получение технического задания от предприятия-заказчика и его согласование.	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Сбор необходимых данных, технических параметров оборудования, изучения технологического процесса.	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Выбор способа проведения технической стороны исследования и его обоснование; составление математических моделей.	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Составление графика выполнения работ на всех этапах.	Научный руководитель
Теоретические исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Проведение теоретических расчетов, а затем необходимых экспериментов для их подтверждения.	Инженер
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Анализ результатов проведенного научно-технического исследования, выдача рекомендаций относительно решаемой задачи.	Инженер совместно с научным руководителем
Оформление отчета по НИР	7	Составление пояснительной записки	Составление отчета о проделанной работе, с указанием проблематики проводимого исследования, результатов и принятых технических решений.	Инженер
	8	Публикация полученных результатов	Передача результатов исследования заказчику и их внедрение в процесс производства.	Научный руководитель

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (34)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (35)$$

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

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

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

В таблице 7 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (36)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = \frac{365}{247} = 1,48, \quad (37)$$

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

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году (пятидневная рабочая неделя);

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнитель		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожгi}$, чел-дни							
	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	1	-	2,8	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	14	-	21	-	16,8	-	1	-	16,8	-	25
Выбор направления исследований	2	4	3	5	2,4	4,4	1	1	2,4	4,4	4	7
Календарное планирование работ по теме	3	-	7	-	4,6	-	1	-	4,6	-	7	-
Проведение теоретических расчетов и обоснований	-	21	-	28	-	23,8	-	1	-	23,8	-	35
Оценка эффективности полученных результатов	3	7	5	14	3,8	9,8	1	1	3,8	9,8	6	15
Составление пояснительной записки	-	5	-	10	-	5	-	1	-	5	-	7
Публикация полученных результатов	2	-	4	-	2,8	-	1	-	2,8	-	4	-

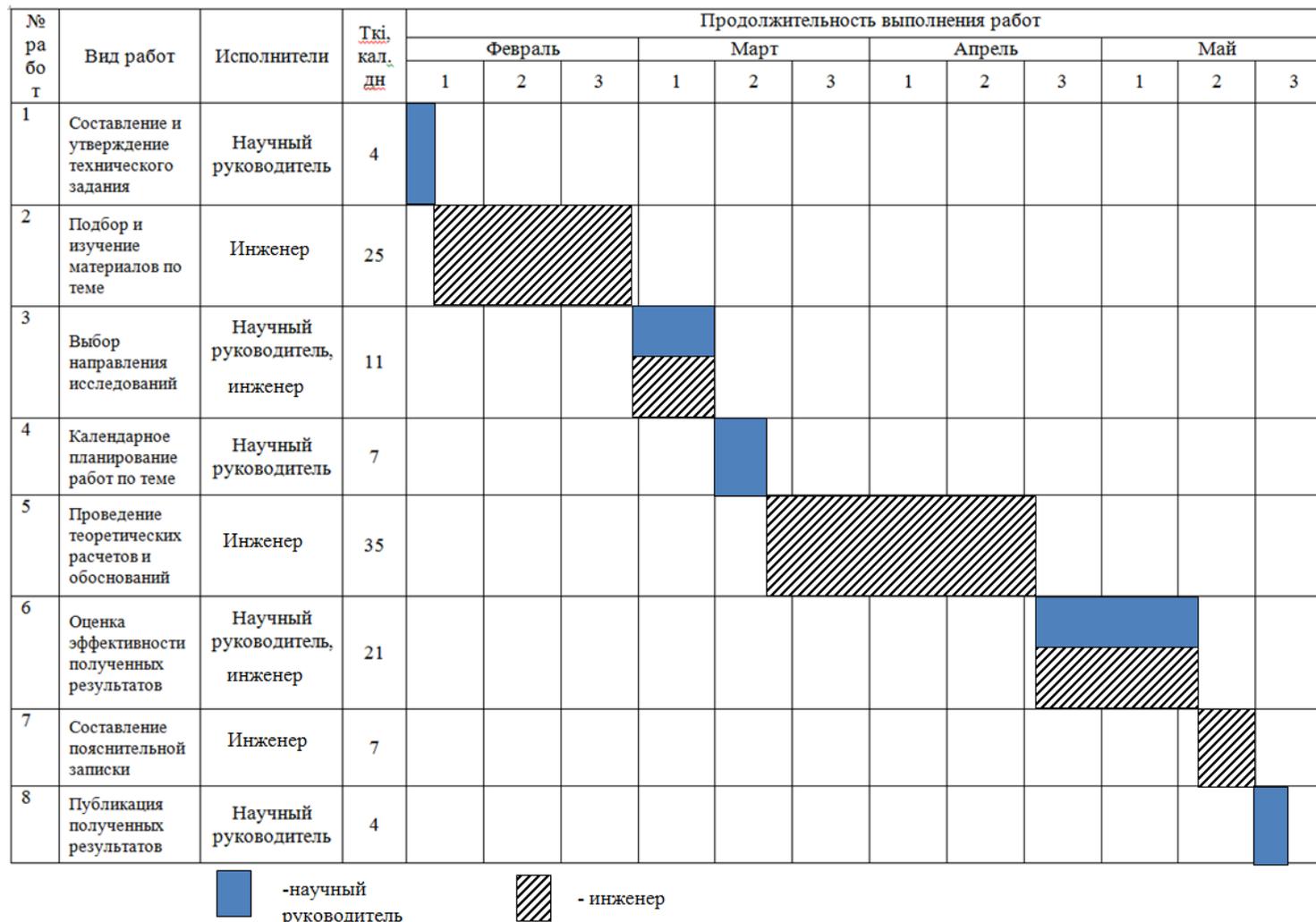
Итого длительность работ – 114 календарных дней.

На основе таблицы 7 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 8:

Вывод: общее число работ составило 8. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 16 чел-дней, для студента-исполнителя составила 60 чел-дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 114 календарных дней.

Таблица 8 – Календарный план-график проведения НИР (Диаграмма Ганта)



3.3 Расчет бюджета для научно-технического исследования

Расчет материальных затрат НИИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи} , \quad (38)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 9.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб		Затраты на материалы, (Зм), руб	
		Науч. Рук-ль	Инженер	Науч. Рук-ль	Инженер	Науч. Рук-ль	Инженер
Компьютер	Штука	1	1	20000	25000	23000	28750
Принтер	Штука	1	1	6000	6000	6900	6900
Mathcad	Штука	1	1	7000	7000	8050	8050
Microsoft Word	Штука	1	1	2000	2000	2300	2300
Специализированное ПО	Штука	3	3	8000	8000	9200	9200
Канцелярские принадлежности	-	-	-	-	-	2000	4000
Итого						51450	57200

Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 10:

Таблица 10 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям		Трудо-емкость, чел.-дн.		Заработная плата, приходящая на один чел.-дн., тыс. руб.		Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	-	2,8	-	3060	-	8568	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	Инженер	-	16,8	-	1515	-	25452
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель	Инженер	2,4	4,4	3060	1515	7344	6666
4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель	-	4,6	-	3060	-	14076	-
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	-	Инженер	-	23,8	-	1515	-	36057
6	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель	Инженер	3,8	9,8	3060	1515	11628	14847
7	Составление пояснительной записки	-	Инженер	-	5	-	1515	-	7575
8	Публикация полученных результатов	Научный руководитель	-	2,8	-	3060	-	8568	-
Итого:								50184	90597

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (39)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}, \quad (40)$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 11

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	104	104
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	24	48
-невыходы по болезни	16	10
Действительный годовой фонд рабочего времени	207	189

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{м} = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р}, \quad (41)$$

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

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

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$);

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

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{сi} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 12:

Таблица 12 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	30000	0,3	0,15	1,3	56550	3059,71	207	633360
Инженер	15000	0,3	0,5	1,3	35100	1514,689	189	286276
Итого								919636

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и

общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (42)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 13.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (43)$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды представлено в таблице 13

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	633360	95004
Инженер	286276	42941
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Отчисления, руб		
Научный руководитель	197386,6	
Инженер	89218	

Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (44)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Расчет величины накладных расходов приведен в таблице 14

Таблица 14 – Накладные расходы

	$Z_{\text{накл}}$, руб.
Научный руководитель	156352
Инженер	76102

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 15

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Научный руководитель	Инженер	
1. Материальные затраты НТИ	51450	57200	Пункт 3.3.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	633360	286276	Пункт 3.3.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	95004	42941	Пункт 3.3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	197386	89218	Пункт 3.3.4
5. Накладные расходы	156352	76102	16 % от суммы ст. 1-4
Бюджет затрат НТИ	1133552	551737	Сумма ст. 1-5

Вывод: суммарный бюджет затрат НТИ составил – 1685289 рублей.

3.4 Определение целесообразности и эффективности научного исследования

3.4.1 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности исследования необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$HTU = \sum_{i=1}^n k_i \cdot P_i \quad (45)$$

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

Таблица 16 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.4
Теоретический уровень	0.2
Возможность и масштабы реализации	0.4

Таблица 17 – Шкала оценки новизны

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

Таблица 18 – Значимость теоретических уровней

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

Таблица 19 – Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
<u>В течение первых лет</u>	<u>10</u>
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
<u>Отрасль</u>	<u>4</u>
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.4, P_1 = 10, k_2 = 0.2, P_2 = 8,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$HTU = 0.4 \cdot 10 + 0.2 \cdot 8 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 8.4$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей

3.4.2 Оценка важности рисков

При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления (P_i). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i). Важность оценивается по 10- балльной шкале b_i . Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблице 20.

Таблица 20 – Экономические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Инфляция	100	1	0,019	1,960
2	Экономический кризис	25	2	0,039	0,980
3	Недобросовестность поставщиков	25	6	0,117	2,941
4	Непредвиденные расходы в плане работ	50	7	0,137	6,862
5	Снижение уровня спроса на продукцию	50	10	0,196	9,803
6	Сложность выхода на мировой рынок вследствие монополизированность рынка	75	7	0,137	10,294
7	Колебания рыночной конъюнктуры	25	6	0,117	2,941

8	Отсутствие в числе сотрудников экономистов	25	2	0,039	0,980
9	Низкие объемы сбыта	50	10	0,196	9,803
	Сумма		51	1	46,568

Таблица 21 – Технологические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	возможность поломки оборудования	25	7	0,25	6,25
2	низкое качество поставленного оборудования	25	9	0,3214	8,0357
3	неправильная сборка оборудования	25	8	0,2857	7,1428
4	опасность для работающего персонала и аппаратуры	75	4	0,1428	10,714
	Сумма		28	1	32,142

Таблица 22 – Научно-технические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	развитие конкурентных технологий	75	7	0,145	10,937
2	создание новых методов синтеза	75	7	0,145	10,937
3	риск невозможности усовершенствования технологии	50	8	0,166	8,333
4	отсутствие результата в установленные сроки	50	7	0,145	7,2916
5	получение отрицательного результата при внедрении в производство	25	10	0,208	5,208
6	несвоевременное патентование	25	9	0,187	4,687
	Сумма		48	1	47,395

Далее производится расчет общих рисков:

Таблица 23 – Общая оценка риска проекта

Виды рисков в группе	P_i	b_i	W_i	$P_i * W_i$
Экономические	46,57	10	0,25	11,64
Технологические	32,14	9	0,5	16,07
Научно-технические	47,4	6	0,25	11,85
Итого		25	1	39,56

Итоговая оценка риска проекта составила порядка 40%, т.е. проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен препятствий.

Для того чтобы избежать риски или минимизировать их воздействие на проект необходимо проводить мероприятия по борьбе с рисками.

Таким образом, анализируя результаты данного раздела, можно заключить, что проводимое исследование имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, а также приемлемый уровень рисков. Это подтверждает целесообразность проводимого научного исследования.

Выводы

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1. Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования на примере SWOT-анализа, результат которого показал большой потенциал применения методики, а также возможность быстрого выхода на внешний рынок обеспечены принципиально новым подходом к решению поставленной задачи.
2. Определен полный перечень работ. Общее число работ составило 8. Определена трудоемкость проведения работ. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 16 чел-дней, для студента-исполнителя составила 60 чел-дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 114 календарных дней.
3. Суммарный бюджет затрат НИИ составил – 1685289 рублей. Расчет бюджета осуществлялся на основе следующих пунктов:
 - расчет материальных затрат НИИ;
 - основная заработная плата исполнителей темы;
 - дополнительная заработная плата исполнителей темы;
 - отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
 - накладные расходы.
4. Определена целесообразность и эффективность научного исследования путем анализа и оценки научно-технического уровня проекта, а также оценки возможных рисков. В результате проводимое исследование имеет высокую значимость теоретического и практического уровня и приемлемый уровень рисков.

Следует отметить важность для проекта в целом проведенных в данной главе работ, которые позволили объективно оценить эффективность проводимого научно-технического исследования.