

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



Институт ЭНИН
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра Электроэнергетических систем

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Устойчивость электропередачи, оборудованной статическим тиристорным компенсатором реактивной мощности
УДК <u>621.316.761.2</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Б	Петров Артем Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Васильев А.С.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	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>Общекультурные компетенции</i>	
P1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы; готовность применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области для решения коммуникативных задач.
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля; осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования; уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.
P4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства коллективом исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами; уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
P5	Демонстрировать знание социальных, правовых, культурных и экологических аспектов профессиональной деятельности, знание вопросов охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на электроэнергетических и электротехнических производствах.
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты профессиональной деятельности.
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>	
P7	Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности с целью моделирования элементов, систем и объектов электроэнергетики и электротехники.
P8	Способность применять стандартные методы расчета и средства автоматизации проектирования; принимать участие в выборе и проектировании элементов, систем и объектов электроэнергетики и электротехники в соответствии с техническими заданиями.
P9	Способность применять современные методы разработки энергосберегающих и экологически чистых технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий; применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов на электроэнергетическом и электротехническом производствах.
P10	Готовностью обеспечивать соблюдение производственной и трудовой дисциплины на электроэнергетическом и электротехническом производствах; осваивать новые технологические процессы производства продукции; обеспечивать соблюдение заданных параметров технологического процесса и качества продукции.
P11	Способность проводить предварительное 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.
P12	Способность проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов; планировать экспериментальные исследования; применять методы стандартных испытаний электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники.
P13	Способность участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности на основе систематического изучения научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, патентных исследований по соответствующему профилю подготовки.
P14	Способностью к монтажу, регулировке, испытаниям, сдаче в эксплуатацию, наладке и опытной проверке электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P15	Готовность осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организации профилактических осмотров и текущего ремонта.

Код результата	Результат обучения
P16	Способность разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию, выполнять проектно-конструкторские работы в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации электроэнергетических и электротехнических объектов, организовывать метрологическое обеспечение; подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.
<i>Специальные профессиональные компетенции Профиль «Электрические станции»</i>	
P7	Способностью моделировать режимы работы электроэнергетических станций и подстанций с использованием профессиональных программ; проводить экспериментальные исследования функционирования элементной базы системной автоматики.
P8	Способностью определить параметры электрической станции; оценивать надёжность работы проектируемой станции.
P9	Способностью оценивать влияние аварийных ситуаций в энергосистемах на безопасность жизнедеятельности людей; последствия от прекращения электроснабжения на функционирование предприятий и возможного ущерба.
P10	Способностью обеспечить соблюдение рассчитанных параметров при строительстве станции, отладке релейной защиты и противоаварийной автоматики; проводить работы по сертификации устройств автоматики энергосистем.
P11	Способностью планировать работу персонала и фондов оплаты труда при разработке электрической станции и включении её в электроэнергетическую систему.
P12	Способностью использовать современную аппаратуру для измерения режимных параметров.
P13	Готовностью к участию в исследовательских работах и внедрению результатов выполненных исследований по автоматизации энергообъектов.
P14	Готовностью к участию в работе по монтажу и наладке устройств на электростанции. Способностью к участию в натурных испытаниях и сдаче в эксплуатацию смонтированного оборудования электростанции.
P15	Способностью к обслуживанию устройств автоматики на электростанциях; способностью к оценке состояния и условий эксплуатации оборудования энергообъекта.
P16	Способностью к проведению анализа результатов работы и составлению отчетной документации.

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



Институт ЭНИН
 Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Кафедра Электроэнергетических систем

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Б	Петров Артем Сергеевич

Тема работы:

Устойчивость электропередачи, оборудованной статическим тиристорным компенсатором реактивной мощности	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02.2016 г., №653/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <small>(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.).</small></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пакет прикладных программ Matlab 2. Программа моделирования переходных процессов PowerFactory. 3. Упрощенная модель Томской энергосистемы
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <small>(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).</small></p>	<p><i>Провести исследование принципа работы статического тиристорного компенсатора в ПО Matlab Simulink. Составить модель системы управления СТК в ПО PowerFactory. Оценить влияние СТК на статическую и динамическую устойчивость электропередачи. Дополнить упрощенную модель Томской энергосистемы полученными динамическими моделями СТК. Особые требования: оценка безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, экономический анализ.</i></p>
<p>Перечень графического материала <small>(с точным указанием обязательных чертежей)</small></p>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Потехина Нина Васильевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Романцов Игорь Иванович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Васильев Алексей Сергеевич	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Б	Петров Артем Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Б	Петров Артем Сергеевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Электрические станции

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

1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	12 % дополнительная заработная плата 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	27,1% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение сильных, слабых сторон проекта, а так же его возможностей и угроз (SWOT – анализ)
2. Планирование и формирование бюджета проекта	Формирование плана и графика разработки проекта: определение структуры работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта. Формирование бюджета: определение основной заработной платы исполнителей; расчет дополнительной заработной платы исполнителей; определение отчислений во внебюджетные фонды; расчет накладных расходов.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	Определение ресурсной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. Бюджет проекта

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Б	Петров Артем Сергеевич		

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Б	Петров Артем Сергеевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Электрические станции

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места и проверка соответствия</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, вредные вещества, освещение, шумы, электромагнитные излучения,) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду и человека <p>чрезвычайных ситуаций</p>	<p>Рабочее место представляет собой офисное помещение, в котором находится электроприборы.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Вредные факторы производственной среды проявляются в воздействии электромагнитного излучения, шумов, неблагоприятного микроклимата, освещенности, что может неблагоприятно сказываться на состоянии здоровья персонала. – В помещении возможны проявления таких опасных факторов производственной среды, как поражение персонала электрическим током. <p>При эксплуатации электроприборов могут возникнуть аварийные ситуации, в ходе которых возможно появление пожаров, что является чрезвычайной ситуацией. Это поможет повлечь за собой возгорание всего здания.</p>
<p>1. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Правилами устройства электроустановок – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы – СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ul style="list-style-type: none"> – Требования к микроклимату в помещении описаны в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 – Повышенный уровень шума оказывает негативное влияние на здоровье человека <p>Требования к напряженности электромагнитного поля и освещенности помещения описаны в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03</p>
--	--

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности – электробезопасность	– В каких случаях может произойти поражение электрическим током в офисном помещении. – Меры безопасности от поражения электрическим током
3. Охрана окружающей среды: – Анализ воздействия объекта на организм человека и окружающую среду.	Компоненты компьютера, оказывающие вредное влияние на организм человека и окружающую среду
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Пожарная безопасность	Самым распространенным фактором, который может привести к ЧС является пожар. Подробно рассмотреть пожарно-профилактические, организационные и эксплуатационные мероприятия.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть основные организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Б	Петров Артем Сергеевич		

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



Институт ЭНИН
 Направление подготовки (специальность) электроэнергетика
 Уровень образования бакалавр
 Кафедра ЭЭС
 Период выполнения (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1.03.2016 г.	Обзор литературы	
3.03.2016 г.	Объект и методы исследования	
13.03.2016 г.	Изучение программного обеспечения	
30.03.2016 г.	Исследование принципа работы СТК в ПО Matlab	
30.04.2016 г.	Создание модели системы управления СТК В PowerFactory	
10.05.2016 г.	Оценка влияния СТК на статическую и динамическую устойчивость электропередачи	
20.05.2016 г.	Интеграция полученной модели в упрощенную модель Томской энергосистемы	
12.05.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
20.05.2016 г.	Социальная ответственность	
06.06.2016 г.	Оформление работы	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Васильев А.С.	к.т.н		

СОГЛАСОВАНО:

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

Реферат

Выпускная квалификационная работа, состоящая из 84 страниц, 41 рисунка, 13 таблиц, 18 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: статический тиристорный компенсатор, статическая устойчивость, динамическая устойчивость, энергосистема, электропередача, реактивная мощность, напряжение, система автоматического управления.

Объектом исследования является устойчивость электропередачи, оборудованной статическим тиристорным компенсатором реактивной мощности.

Цель работы – исследование принципа работы статического тиристорного компенсатора и оценка его влияния на параметры сети, на статическую и динамическую устойчивость электропередачи.

В ходе проведения исследования была составлена модель трехфазного СТК в ПО Matlab, получены графики зависимости выдаваемой/потребляемой мощности от угла зажигания тиристоров и осциллограммы фазных токов. Составлена модель системы управления СТК в ПО PowerFactory, оценено влияние СТК на устойчивость электропередачи. Полученная модель интегрирована в упрощенную модель Томской энергосистемы.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: точность воспроизведения процессов в моделируемом СТК и другие характеристики определены на приемлемом уровне.

Степень внедрения: интегрирована в упрощенную модель Томской энергосистемы.

Область применения: моделирование ЭЭС.

Экономическая эффективность определяется заранее проведенными испытаниями СТК без реального ущерба ЭЭС. Полученные в работе

практические результаты позволяют их использовать в ВМК РВ ЭЭС ЭНИН для научных и исследовательских целей.

В будущем планируется уточнить полученную модель в целях уточнения процессов, происходящих в ЭЭС при динамических переходах.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями и сокращения:

DIgSILENT Simulation Language – язык программирования, использующийся в DIgSILENT PowerFactory при создании динамических моделей;

ЭЭС – электроэнергетические системы;

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

СТК (SVS) – статический тиристорный компенсатор;

ПО – программное обеспечение;

АРВ – автоматический регулятор возбуждения;

ОЭС – объединенная энергосистема;

ЛЭП – линия электропередачи;

СТАТКОМ – статический компенсатор реактивной мощности, является статическим аналогом синхронного компенсатора;

FACTS – гибкая система переменного тока (Flexible AC Transmission System);

ТРГ (TCR) – тиристорно-реакторная группа

УР – установившийся режим;

КБ – конденсаторная батарея;

УШР – управляемый шунтирующий реактор;

АПВ – автоматическое повторное включение;

Оглавление

Введение.....	14
1 Обзор литературы	17
2 Объект и методы исследования	19
3 Статический тиристорный компенсатор реактивной мощности	
3.1 Однофазный статический тиристорный компенсатор.....	
3.2 Трехфазный статический тиристорный компенсатор.....	
3.3 Модель СТК в PowerFactory в установившемся режиме.....	
3.4 Модель системы управления СТК в динамических режимах.....	
3.4.1 Модель системы управления без SVS-Interface.....	
3.4.2 Модель системы управления с SVS-Interface	
3.5 Исследование влияния СТК на статическую устойчивость.....	
3.6 Исследование влияние СТК на динамическую устойчивость	
3.7 Дополнение упрощенной модели Томской энергосистемы разработанной моделью системы управления СТК	
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	21
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	21
4.1.1 SWOT-анализ	21
4.2 Организация и планирование работ.....	23
4.3 Линейное планирование	24
4.4 Бюджет проекта.....	27
4.4.1 Расчет материальных затрат проекта.....	27
4.4.2 Основная заработная плата исполнителей работ	28
4.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды.....	29
4.4.4 Амортизация.....	29
4.4.5 Накладные расходы	30
4.4.6 Формирование бюджета затрат проекта.....	31
4.5 Ресурсоэффективность	31
5 Социальная ответственность	
5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	

5.1.1 Требования к микроклимату, ионному составу и концентрации вредных химических веществ в воздухе помещений	
5.1.2 Освещение помещений и рабочих мест	
5.1.3 Требования к шуму и вибрации в помещениях	
5.1.4 Требования к электромагнитному и ионизирующему излучениям в помещениях	
5.1.5 Требования к организации и оборудованию рабочих мест	
5.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	
5.3 Охрана окружающей среды	
5.4 Защита в чрезвычайных ситуациях	
6.5 Законодательное регулирование проектных решений.....	
Заключение	
Список литературы	
Приложение А	

Введение

Проблема и ее актуальность.

Современные энергосистемы работают в полуавтоматическом режиме, то есть, стабильность основных параметров режима, таких как частота или напряжение, поддерживается устройствами автоматики, настроенными заранее. Различные характеристики первичных двигателей и наличие большого количества автоматических устройств в энергосистеме значительно усложняет задачу расчета переходных процессов. Используемые в отечественной практике программные продукты, такие как Mustang или RastrWin, позволяют учесть влияние автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) и турбин при расчете переходных процессов, но ограничиваются одной заранее заданной разработчиками математической моделью, а моделирование таких устройств как синхронные тиристорные компенсаторы вообще невозможно стандартными средствами.

В последнее время, в России набирает популярность программное обеспечение от немецкой компании DIgSILENT – PowerFactory, которое является комплексным решением для планирования и анализа режимов современных энергосистем и поставляется с отвечающей современным требованиям системой визуализации, новых моделей и алгоритмов решения.

Программное обеспечение (ПО) PowerFactory предназначено для задач проектировщиков, специалистов по электрическим режимам, релейной защиты и противоаварийной автоматики, диспетчеров и исследователей.

Среди преимуществ PowerFactory можно выделить следующие: функционально и вертикально интегрированное ПО, объектно-ориентированная архитектура, интегрированная база данных, наличие менеджера управления проектами [1].

PowerFactory позволяет использовать для расчетов стандартные математические модели турбин, АРВ, статических тиристорных

компенсаторов (СТК), а также создавать собственные модели. Для создания пользовательских моделей используются стандартные математические функции, выполненных в виде готовых блоков, а также элементы программирования на DIgSILENT Simulation Language. Данное обстоятельство позволяет использовать данную программу для гибких расчетов, комплексно учитывающих действие устройств автоматики.

К сожалению, стандартные модели были разработаны с учетом европейских стандартов и соответственно использование их в российской практике сопровождается дополнительными трудностями, но вполне возможно. В случаях, когда использование стандартной модели не представляется возможным или упрощенная модель необходима в учебных целях приходится прибегать к созданию пользовательских моделей.

Целью работы является исследование принципа работы трехфазного статического тиристорного компенсатора и создание модели в программе PowerFactory, позволяющей производить оценку его влияния на режимные параметры в установившихся и динамических режимах.

Объект исследования. Влияние статического тиристорного компенсатора реактивной мощности на статическую и динамическую устойчивость, а также на параметры сети в установившемся и переходном режимах.

Предмет исследования. Анализ принципа работы статического тиристорного компенсатора и его влияния на параметры режима, статическую и динамическую устойчивость.

Научная новизна. В ходе данной работы была составлена модель системы управления, отличающаяся от имеющихся на сегодняшний день стандартных моделей простотой настройки, что позволяет использовать ее в учебных и научных целях.

Практическая значимость результатов ВКР. Разработанная в ходе данной работы модель была интегрирована в упрощенную модель Томской

энергосистемы, которая в дальнейшем может быть использована в учебных, научных и исследовательских целях.

Реализация и апробация работы. В процессе выполнения научно-исследовательской работы в программе Matlab Simulink была собрана модель трехфазного СТК, получены осциллограммы токов и графики зависимости, выдаваемой/потребляемой мощности от угла зажигания тиристоров. Затем была собрана модель системы управления в ПО PowerFactory, с помощью которой было оценено влияние СТК на статическую и динамическую устойчивость электропередачи. Разработанная модель была интегрирована в упрощенную модель Томской энергосистемы.

1 Обзор литературы

Одной из основных целей развития российской электроэнергетики является обеспечение энергетической безопасности страны, как одной из важнейших составляющих национальной безопасности, соответственно, безаварийная работа элементов электроэнергетической системы (ЭЭС) является важной задачей.

В России наблюдается возрастающий интерес к реформированию энергетики на основе новой концепции Smart Grid (интеллектуальная сеть). В настоящее время постепенно ведется работа по модернизации ЭЭС в интеллектуальную энергосистему, которая потенциально будет обладать рядом принципиально новых свойств, обеспечивать качественное и надежное электроснабжение и устойчивую работу всех частей энергосистемы. К сожалению, процесс модернизации энергетической отрасли – сложнейшая задача. Стоят вопросы совместимости оборудования, отвечающего стандартам интеллектуальных сетей, с оборудованием, используемым в настоящее время, а также вопросы его квалифицированного обслуживания. Однако, необходимо заметить, что концепция интеллектуальной сети означает инновационное преобразование энергетики в целом, а не отдельных ее сегментов [2].

Также, в настоящее время, наблюдается тенденция объединения имеющихся энергосистем в огромные энергообъединения, как посредством полного синхронного объединения, так и посредством линий постоянного тока. Так, к примеру, в июле 2009 года операторы Северной и Западной синхронных зон Европы были объединены, планируется объединение ОЭС Востока и ОЭС Сибири через вставку постоянного тока 200 МВт, западной части Якутии с ОЭС Востока, а также объединение энергосистем России и Европы.

Объединение энергосистем производится с целью компенсации, наблюдающегося в настоящее время, уменьшения аварийного резерва мощности. Электрические связи большой мощности обеспечивают взаимное

резервирование энергосистем в нормальных и аварийных режимах. Данные задачи могут быть решены строительством новых линий электропередачи (ЛЭП) или усилением действующих линий. Модернизация существующих линий в некоторых случаях может оказаться даже экономичнее чем сооружение новых. При увеличении пропускной способности предъявляются дополнительные требования к новым системам в отношении пределов передаваемых мощностей, демпфирования колебаний мощности, поддержания напряжения в сети, быстрого действия для предотвращения лавины напряжения, а также перераспределения потоков мощности в электрических сетях.

Также стоит отметить, что применение новых технологий регулирования режимов работы сетей вызвано рядом обстоятельств:

- нехваткой земли под строительство ЛЭП, повышением стоимости сооружения ЛЭП;
- необходимостью увеличения пропускной способности системообразующих связей;
- ростом потерь, а также неэффективным использованием мощных ЛЭП.

Данные трудности постоянно возникали по мере развития электроэнергетических сетей и решались путем применения более современных систем регулирования возбуждения генераторов, применением синхронных компенсаторов. Благодаря успехам в области силовой электроники стало возможно широкое внедрение устройств FACTS на ее основе, таких как СТК или СТАТКОМ, в сети переменного тока с целью повышения их управляемости. При этом данные устройства позволяют обеспечить стабилизацию напряжений, демпфирование низкочастотных колебаний, повышение статической и динамической устойчивости, оптимизацию потокораспределения, а в итоге – повышение пропускной способности сети и снижение потерь. [3]

Начальным этапом развития силовой электроники стало создание тиристорных вентилях большой мощности в 70х годах прошлого века. На основе тиристора были созданы коммутационные устройства с быстродействием не менее половины периода частоты переменного тока. Для быстрого подключения компенсирующих устройств стали использовать тиристоры. Поначалу, стоимость тиристоров была слишком велика, что делало их использование экономически невыгодным, но постепенно цена на них снизилась и составляет в настоящее время от 8 до 50 долларов за кВАр, хотя и осталось достаточно высокой. Этим и объясняется значительный временной разрыв между появлением устройств FACTS и наблюдаемым в настоящее время активным периодом их использования. В настоящее время по всему миру установлено более 800 СТК, 55% из которых произведено компанией АВВ.

В отличии от активно развивающейся номенклатуры устройств FACTS задачи разработки методов их управления решаются гораздо медленнее. Дело в том, что внедрение устройств FACTS оказывает влияние на энергосистему как в установившиеся, так и в переходных режимах, а, следовательно, и на работу систем релейной защиты и автоматики, поэтому уровень этого влияния с повышением количества установленных FACTS требует дополнительных исследований

2 Объект и методы исследования

Объектом исследования является влияние статического тиристорного компенсатора реактивной мощности на статическую и динамическую устойчивость, а также на параметры сети в установившихся и переходных режимах.

Сначала, с целью изучения принципа работы СТК, будет собрана его модель в ПО Matlab Simulink. Будут получены осциллограммы токов и графики

зависимости выдаваемой/потребляемой мощности от угла зажигания тиристоров.

Затем, будет составлена модель системы управления СТК в программе PowerFactory и оценено влияние СТК на установившийся и динамический режимы. Разработанная модель будет интегрирована в упрощенную модель Томской энергосистемы.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 SWOT-анализ

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта. Будет определена конкурентоспособность выполненного проекта, трудоемкость проводимых работ, создан график проведения работ, произведен расчет стоимости материальных затрат, а также заработной платы и сформирован бюджет затрат на проектирование.

Сначала выявим сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Далее выявим соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках третьего этапа составим итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 3).

В данном разделе с помощью стратегического планирования были определены явления и факторы, оказывающие влияние на проект. Теперь, зная об угрозах и возможностях проекта, можно выработать определенную тактику действий, направленных на повышение конкурентоспособности и потенциала проекта, а также на устранение неблагоприятных факторов.

Таблица 1 – итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	<p>С1. Увеличение точности расчетов переходных процессов и установившихся режимов</p> <p>С2. Возможность оценки статической и динамической устойчивости</p> <p>С3. Удобство использования и наглядность полученных результатов</p>	<p>Сл1. Неточность модели системы управления СТК</p> <p>Сл2. Отсутствие методической информации к используемому ПО на русском языке</p> <p>Сл3. Высокая стоимость используемых программных продуктов</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование результатов проекта в дальнейших разработках.</p> <p>В2. Результаты проекта могут помочь предотвратить аварии в энергосистеме.</p> <p>В2. Использование инфраструктуры ТПУ</p>	<p>Данная модель обладает конкурентоспособностью, т.к. позволяет комплексно учитывать влияние СТК на установившиеся и динамические режимы. Также возможно дальнейшее использование модели в дальнейших разработках ТПУ.</p>	<p>С помощью инфраструктуры ТПУ можно решить проблему неточности модели СТК, а также высокой стоимости используемых программных продуктов (получить более дешевые лицензии на ПО)</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Падение курса рубля</p> <p>У3. Несвоевременное финансирование</p> <p>У4. Непопулярность используемого ПО в России</p>	<p>Увеличение спроса на используемое ПО среди потребителей неизбежно приведет к увеличению спроса на адаптированные к российскому рынку модели силовых устройств. Удобство использования и наглядность результатов может оказать влияние на конкуренцию.</p>	<p>Т.к. в данном проекте используется зарубежное ПО, цена на которое сильно зависит от нестабильной экономической ситуации в стране, может потребоваться дополнительное финансирование.</p>

4.2 Организация и планирование работ

Для выполнения проекта собирается рабочая группа из двух человек, в которую входят научный руководитель и инженер. Далее составляется поэтапный перечень всех необходимых работ, выбирается оптимальное время их исполнения в рабочих днях и количество задействованных в работе человек.

Таблица 2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	3	Подбор материалов и литературы по теме	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретическое исследование	5	Изучение материалов и литературы	Инженер
	6	Выбор программного обеспечения	Руководитель, инженер
	7	Изучение программного обеспечения	Инженер
Экспериментальное исследование	8	Создание модели СТК	Инженер
	9	Исследование влияния СТК на устойчивость	Инженер
	10	Внесение корректив в испытания прототипа	Руководитель, инженер
Оформление отчета по НИР	11	Оценка итогов полученных результатов	Руководитель, инженер
	12	Составление отчета по проделанной работе	Руководитель, инженер

4.3 Линейное планирование

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проекта.

Трудоемкость выполнения проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях. Для расчёта ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

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

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

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

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

Исходя из расчётов трудоемкости работ, определяется время выполнения каждой i -ой работы (T_{pi}) по формуле

$$T_{pi} = t_{ожі} / Ч_i,$$

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.

Для примера расчета, рассчитаем ожидаемую трудоемкость и продолжительность работы №5:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 15 + 2 \cdot 30}{5} = 21;$$

$$T_{pi} = t_{ожі} / Ч_i = 21 / 1 = 21.$$

Таблица 3 – Календарный график

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{Ki}	
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ожг}$, чел-дни						
				Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель
Составление и утверждение технического задания	2	2	2	1	1	1	1	2	2
Выбор направления исследований	2	3	2,4	1	1	1,2	1,2	2	2
Подбор материалов и литературы по теме	3	5	3,8	1	1	1,9	1,9	3	3
Календарное планирование работ по теме	2	3	2,4	1	1	1,2	1,2	2	2
Изучение материалов и литературы	15	30	21	1	0	21	0	26	0
Выбор программного обеспечения	2	3	2,4	1	1	1,2	1,2	2	2
Изучение программного обеспечения	15	30	21	1	0	21	0	26	0
Создание модели СТК	15	30	21	1	0	21	0	26	0
Исследование влияния СТК на устойчивость	4	7	5,2	1	0	5,2	0	7	0
Внесение корректив в испытания прототипа	5	15	9	1	1	4,5	4,5	6	6
Оценка итогов полученных результатов	20	30	24	1	1	12	12	15	15
Составление отчета по проделанной работе	5	15	9	1	0	9	0	11	0
Итого						100,2	23	128	32

Календарное планирование обычно осуществляется с помощью построения планов-графиков проведения работ по каждому проекту. На практике они часто называются ленточными графиками Ганта. В таком графике производственный процесс делится на отдельные операции, изображаемые в виде полос в масштабе времени построчно, причем начало последующей операции совпадает с окончанием предыдущей. Последовательный или последовательно-параллельный набор всех работ по горизонтали позволяет определить продолжительность всего комплекса работ, а подсчет по вертикали – количество ежедневно занятых на работах персонала, техники, материальных ресурсов и т.д.

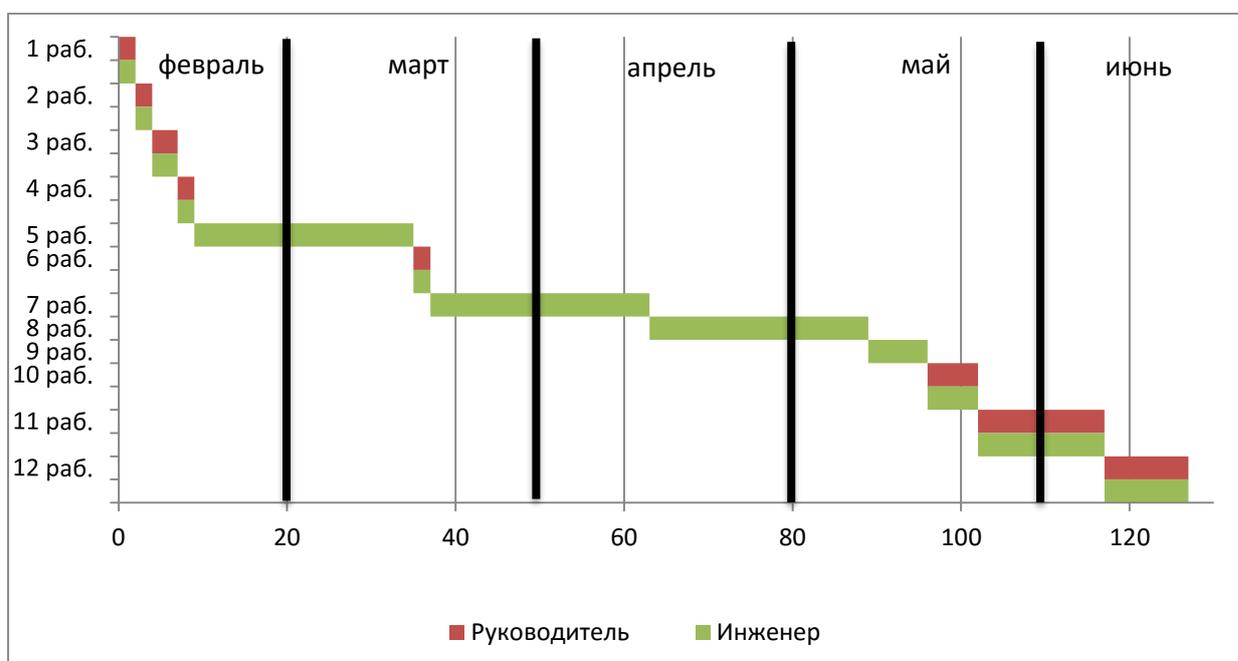


Рисунок 1 – Диаграмма Ганта

Из диаграммы Ганта заметим, что изучение материалов по теме (работа 5), изучение программного обеспечения (работа 7) и создание модели СТК (работа 8) займут больше всего времени. Вся работа над данным проектом займет 128 календарных дней по плану, при этом, 23 рабочих дней будет работать руководитель, а 100 рабочих дней – инженер.

4.4 Бюджет проекта

4.4.1 Расчет материальных затрат проекта

В процессе формирования бюджета проекта учитываются следующие затраты:

- материальные затраты;
- оплата труда;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые взносы);
- амортизация;
- накладные расходы.

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, а именно затраты на канцелярские товары, запоминающие устройства и компьютеры.

Все материальные затраты по проделанной работе представлены в таблице 6, затраты на оборудование приведены в таблице 7.

Таблица 4 – Материальные затраты

№	Наименование изделия	Кол-во единиц изделия	Цена единицы изделия, тыс. руб.	Общая стоимость изделия, тыс. руб.
1	Бумага для принтера	1	0,3	0,3
2	Запоминающее устройство	1	0,7	0,7
Итого:				1 тыс. руб.

Таблица 5 – Оборудование

№	Наименование изделия	Кол-во единиц изделия	Цена единицы изделия, тыс. руб.	Общая стоимость изделия, тыс. руб.
1	Принтер	1	5	5
2	Компьютер	1	25	25
Итого:				30 тыс. руб.

4.4.2 Основная заработная плата исполнителей работ

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

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

$$Z_{зп} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \cdot 1,3,$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12 % от $Z_{осн}$),

1,3 – коэффициент для г. Томска.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 8.

Таблица 6 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб	$Z_{зп}$, руб
Инженер	14874	744	100	74400	8928	108326
Руководитель(доцент)	23264	1163	23	26749	3209	29958
Итого $Z_{зп}$						138284 руб

4.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды - это 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.

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по следующей формуле:

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

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

Таблица 7 – Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Исполнители	$k_{\text{внеб}}$, %	Зп, руб
Все исполнители	27,1	101149
Итого	27411,4 руб.	

4.4.4 Амортизация

В данном пункте рассчитывается амортизация компьютерного оборудования и принтеров, необходимых для выполнения проекта.

Расчет амортизации проводился следующим образом:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2 ,$$

где H_A – норма амортизации;

n – срок полезного использования в количествах лет;

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 90}{12} \cdot 4 = 6 \text{ тыс.руб.},$$

где I – итоговая сумма в тыс.руб.;

m – время использования в месяцах;

Результаты расчета амортизации используемой техники представлены в таблице 10.

Таблица 8 – Расчет амортизации компьютерного оборудования

№	Наименование изделия	Кол-во единиц изделия	Цена единицы изделия, тыс. руб.	Общая стоимость изделия, тыс. руб.
1	ПО Dgl SILENT PowerFactory 15.1	1	80	80
2	ПО Matlab + библиотека Simulink	1	10	10
Норма амортизации	20 %			
Амортизация	6 тыс. руб.			

4.4.5 Накладные расходы

К накладным расходам относятся расходы, не вошедшие в предыдущие элементы затрат, и рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}} = (31 + 138,3 + 30 + 6) \cdot 0,16 = 32,9 \text{ тыс. руб.}$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.4.6 Формирование бюджета затрат проекта

Данный бюджет показывает какую часть из общих затрат составляет конкретный пункт. Бюджет затрат проекта подаётся на утверждение в проектную организацию, которая принимает решение об осуществлении данного проекта.

Определение бюджета затрат на проект приведен в таблице 11.

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	% от общей суммы
1. Материальные затраты проекта	1 000	0,43
2. Оборудование	30 000	12,79
3. Оплата труда	138 284	58,70
4. Отчисления во внебюджетные фонды	27 411,40	11,63
5. Амортизация	6 000	2,55
6. Накладные расходы	32 900	13,96
7. Бюджет затрат проекта	235 595	100

4.5 Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность проекта определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i ,$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности в таблице 12.

Таблица 10 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Точность модели	0,25	3
2. Наглядность результатов	0,25	5
3. Удобство в применении	0,2	4
4. Новизна идеи	0,1	3
5. Соответствие современным стандартам	0,2	5
Итого:	1	

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 = 4,1$$

Проведенная оценка ресурсоэффективности проекта дает достаточно неплохой результат (4,1 из 5), что свидетельствует об эффективности его реализации.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта имеет большое значение, при выполнении данного раздела. Его высокое значение говорит об эффективности использования проекта. Высокие баллы точности, надежности, удобства в применении, новизны, экономии времени позволяют судить о корректно выполненной разработке.

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

- SWOT-анализ дал возможность провести оценки факторов и явлений, влияющих на проект. Были исследованы внешняя и внутренняя среды проекта;

- при проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Общее рабочее время составило 128 календарных дней;
- составлен бюджет проекта, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 235,5 тыс. руб.;
- проведенная оценка ресурсоэффективности (4,1 по 5-бальной шкале) говорит об эффективности реализации данного проекта.