

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 ЭЭС

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Обоснование и исследование математической модели первичного двигателя турбогенератора

УДК 621.313.322-81:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3А	Василенко Александр Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Суворов Алексей Аленксандрович			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский Анатолий Григорьевич	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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 ЭЭС

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А3А	Василенко Александру Сергеевичу

Тема работы:

Обоснование и исследование математической модели первичного двигателя турбогенератора	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1.02.2017 № 497/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является математическая модель первичного двигателя турбогенератора. Для её создания был предоставлен программно-вычислительный комплекс EUROSTAG. Для проведения экспериментов с созданной моделью первичного двигателя была смоделирована реальная энергосистема..
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Бакалаврская работа представляет собой 4 раздела. В первом разделе содержатся теоретические сведения о частоте электрического тока в сети и основные требования к ней, требования к устройствам автоматического регулирования частоты и мощности, рассматриваются понятия зоны нечувствительности и статизма регулятора скорости турбины, производится обзор моделирующих устройств. Во втором разделе описывается сам эксперимент и подготовка к нему, создание моделей различных элементов сети, а так же модели первичного двигателя, представлены результаты эксперимента, выводы. В третьем

	разделе производится экономическая оценка представленной модели, расчёт бюджета технического исследования. В четвёртом разделе приводятся всевозможные негативные воздействия на окружающую среду, чрезвычайные ситуации, также вредные и опасные факторы, влияющие на организм человека, и средства защиты от них.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Схема всережимного моделирования ЕНЭС Томской области
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Потехина Нина Васильевна
«Социальная ответственность»	Дашковский Анатолий Григорьевич
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
Ассистент	Суворов Алексей Александрович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3А	Василенко Александр Сергеевич		

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А3А	Василенко Александру Сергеевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	РЗиА

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя - 17000 руб. Оклад инженера - 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премимальный коэффициент 10%; Доплаты и надбавки 10%; Дополнительная заработная плата 15%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды 27,1 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	-Анализ конкурентных технических решений; -SWOT – анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы; - амортизационные отчисления.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Определение ресурсоэффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3А	Василенко Александр Сергеевич		

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А3А	Василенко Александру Сергеевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	РЗиА

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования)	Рабочее место представляет собой помещение лаборатории, работа в которой производится на ЭВМ
Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	Технической регламент по пожарной безопасности ФЗ «О специальной оценке условий труда»

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1.1 Анализ вредных факторов	Шум от ЭВМ; электромагнитное излучение от ЭВМ; микроклимат в аудитории; освещение в аудитории.
1.2 Анализ опасных факторов	Опасность поражения электрическим током; пожарная опасность.
2. Экологическая безопасность	Утилизация отходов производства
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Наиболее вероятной ЧС, которая может возникнуть – это короткое замыкание проводки или пожар.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Организация рабочего места при работе с ЭВМ Социальное страхование работников

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

Группа	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский Анатолий Григорьевич	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3А	Василенко Александр Сергеевич		

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

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования бакалавриат

Кафедра ЭЭС

Период выполнения весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская выпускная квалификационная работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела/ вид работы	Максимальный балл раздела
29.01.2017	Анализ литературных источников по теме исследования	10
16.02.2017	Описание объекта исследования	10
4.03.2017	Описание эксперимента	20
25.03.2017	Подготовка эксперимента	20
3.04.2017	Получение результатов эксперимента	10
21.04.2017	Анализ полученных результатов и формирование выводов	10
5.05.2017	Социальная ответственность	5
20.05.2017	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
1.06.2015	Заключение по работе	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Суворов А.А.	.		

СОГЛАСОВАНО:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Направление ООП: 130302 Электроэнергетика и электротехника

Профиль: Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

Кафедра, институт: кафедра «Электроэнергетических систем»,

Энергетический институт

Результат обучения				
Профессиональные компетенции				
Р 1	Применять	соответствующие	гуманитарные,	социально-экономические,
математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.				
Р 2	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.			
Р 3	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.			
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.			
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.			
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.			
Универсальные компетенции				
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники			
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.			
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.			
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.			
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.			
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.			

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 93 с., 22 рис., 15 табл., 16 источников, 1 прил.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, частота в энергосистеме, синхронный генератор, первичный двигатель, автоматический регулятор частоты и мощности, математическая модель, EUROSTAG, БМК РВ ЭЭС.

Объектом исследования является математическая модель первичного двигателя турбогенератора.

Цель работы – создание и исследование математической модели первичного двигателя турбогенератора, оценка адекватности созданной модели.

В процессе исследования проводилось создание математической модели первичного двигателя и его АРЧМ в БМК EUROSTAG, производились тестовые возмущения для проверки правильности работы разработанной модели в БМК EUROSTAG и её аналога в моделирующем комплексе БМК РС ЭЭС, а также проведен анализ полученных результатов.

В результате исследования в БМК EUROSTAG реализована адекватная модель первичного двигателя турбогенератора, рассмотрено влияние параметров АРЧМ на его работу при возникновении возмущающих воздействий.

Область применения: создание математических моделей первичных двигателей, испытание работы АРЧМ первичных двигателей при различных возмущениях в энергосистеме.

Экономическая значимость работы: использование математической модели позволяет осуществлять детальное исследование элементов энергосистемы, что, в свою очередь, позволяет своевременно выявлять ошибки при проектировании новых объектов электрической сети и принимать меры по их устранению, а так же выявлять ошибки в процессе исследования и эксплуатации оборудования.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

АРЧМ - автоматический регулятор частоты и мощности (под термином «мощность» понимается активная электрическая мощность генератора, которая соответствует механической мощности турбины)

ПУЭ – правило устройства электроустановок

ЭЭС – электроэнергетическая система

АД – асинхронный двигатель

СД – синхронный двигатель

ТР - двухобмоточный трансформатор

ТРТ – трёхобмоточный трансформатор

АТ – автотрансформатор

ДПНУ - динамическая панель наблюдения и управления

ПВК – программно-вычислительный комплекс

ЕЭС – единая энергетическая система

ГРЭС – государственная районная электростанция

УКРМ – устройства компенсации реактивной мощности

СГ – синхронный генератор

Оглавление

Введение.....	13
1. «КРАТКИЙ ТЕОРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР»	15
1.1. Обзор литературы	15
1.2. Общие сведения о частоте электрического тока	16
1.3. Показатели качества частоты.....	17
1.4. Общая характеристика проблемы регулирования частоты активной мощности в электроэнергетических системах	18
1.5. Коэффициент статизма и зона нечувствительности регуляторов скорости турбины	19
1.6. Описание математической модели первичного двигателя и АРЧМ	23
1.7. Обзор моделирующих устройств	26
1.7.1. Программно-вычислительный комплекс EUROSTAG	26
1.7.1.2. Структура ПВК EUROSTAG	27
1.7.1.3. Модели	28
1.7.1.3. Асинхронные машины.....	29
1.7.1.4. Линии электропередачи.....	29
1.7.1.5. Устройства компенсации реактивной мощности	30
1.7.2. Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем	30
2. «ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ».....	34
2.1. Подготовка эксперимента	34
2.2. Проведение эксперимента.....	43
2.3. Результаты эксперимента.....	45
3. «ФИНАСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	56
3.1. Анализ конкурентных технических решений	56
3.2. SWOT-анализ.....	58
3.3. Планирование научно-исследовательских работ.....	59
3.3.1. Структура работ в рамках научного исследования	59
3.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ	60
3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	63
3.4.1. Расчет стоимости программного обеспечения и оборудования	64

3.4.2. Расчет амортизации.....	64
3.4.3. Основная заработная плата исполнителей работ.....	65
3.4.5. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	67
3.4.6. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	67
3.4.7. Накладные расходы.....	68
3.4.8. Формирование бюджета затрат научно-технического исследования	68
3.5. Ресурсоэффективность	68
4. «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	71
4.1 Производственная безопасность.....	72
4.1.1 Анализ вредных и опасных факторов	72
4.1.2 Акустический шум	72
4.1.3 Электромагнитное поле	73
4.1.4 Микроклимат	75
4.1.5 Освещение.....	77
4.2 Экологическая безопасность.....	81
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	82
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	86
1.5 Вывод.....	89
Заключение	90
Список использованных источников	91
Приложение А	93

Введение

Электроэнергетическая система является электрической частью энергосистемы, включает в себя всё оборудование, участвующее в процессах производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Правильно спроектированное и настроенное оборудование является необходимостью для поддержания динамической устойчивости системы. Автоматические регуляторы частоты и мощности не являются исключением.

Неправильно спроектированный и настроенный АРЧМ может отрицательно повлиять на работу электроэнергетической системы даже в нормальном режиме работы. Это повлечёт за собой поломку оборудования, аварии, лишения потребителя электроэнергии и значительный материальный ущерб. Использование математического моделирования позволяет решить проблему правильной настройки устройств АРЧМ, при этом следует иметь в виду, что его математическая модель должна с максимальной точностью отображать процессы, происходящие в реальном первичном двигателе, т.е. быть максимально полной и достоверной. Математическая модель паровой турбины, котла, АРЧМ это совокупность передаточных функций, имеющих определённое решение. Следовательно, если каждый элемент воспроизводится адекватно, верно отображает процессы, происходящие в нём, то и вся математическая модель будет являться адекватной, то есть достоверно воспроизводить процессы, происходящие в первичном двигателе.

Процесс создания математической модели первичного двигателя можно разделить на 2 этапа.

Первый этап представлял из себя создание математической модели энергосистемы в установившемся режиме, установление параметров режима, максимально близких к параметрам реальной энергосистемы, создание макроблоков первичного двигателя, сценария возмущений в энергосистеме.

Второй этап представлял из себя исследование полученных результатов моделирования, оценку их адекватности.

По результатам оценки были сделаны выводы об адекватности математической модели первичного двигателя турбогенератора.

1. «КРАТКИЙ ТЕОРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР»

1.1. Обзор литературы

Проанализировав работы таких авторов, как Стернинсон, Коротков и т.п. рассмотрели основные научно-технические задачи современной энергетики, требования к качеству вырабатываемой электроэнергии, а так же устройства автоматического управления некоторыми параметрами режима. Рассмотрим это более детально.

Одними из важнейших научно-технических задач современной электроэнергетики являются автоматическое управление режимами работы электроэнергетических систем (ЭЭС) и электроэнергетических объектов по напряжению, частоте, реактивной и активной мощности. Решение этой задачи способствует обеспечению надежности, устойчивости и экономичности единого технологического процесса выработки и передачи, а также распределения и потребления электрической энергии как конечного продукта соответствующего качества[1].

Специфические особенности производства, передачи и распределения электроэнергии обуславливают необходимость и экономическую целесообразность в автоматическом регулировании частоты и активной мощности сети. Как будет подробно рассмотрено далее, частота является основным показателем качества электрической энергии. При несоответствии частоты номинальному значению нарушается баланс активной мощности энергосистемы, что влечёт за собой нарушение работы электродвигателей, как следствие, нарушение технологического процесса; приводит к увеличению потерь в сети, изменению перетоков активной мощности по линиям, что может приводить к их перегрузке и срабатыванию токовых защит. Регулирование частоты в энергосистеме, а, следовательно, и активной мощности осуществляется при помощи изменения мощности первичного двигателя электростанции, в нашем случае, первичного двигателя турбогенератора. Достигается это изменением количества подаваемого пара в турбину, что вызывает изменение скорости вращения ротора

турбогенератора до тех пор, пока значение частоты не установится на номинальном уровне. Осуществляется данное регулирование при помощи автоматического регулятора частоты и мощности (АРЧМ), устанавливаемого на первичный двигатель электростанции [2].

Рассмотрим частоту и АРЧМ более подробно.

1.2. Общие сведения о частоте электрического тока

Как было сказано выше, частота электрического тока является одним из основных показателей качества электрической энергии. Ее значение определяется частотой вращения турбин, вращающих роторы синхронных генераторов, в соответствии с выражением:

$$f = \frac{n \cdot p}{60}, \text{Гц},$$

где n – число оборотов вращения турбины в минуту, p – число пар полюсов синхронного генератора.

Частота вращения турбины зависит от соотношения между вращающим моментом на валу, создаваемым рабочим телом (в нашем случае паром), и моментом сопротивления, создаваемым электрической нагрузкой генератора и передаваемым через электромагнитное поле на вал турбины. При равенстве этих моментов частота постоянна. Если электрическая нагрузка возрастёт, то произойдёт увеличение момента сопротивления по сравнению с вращающим моментом, частота вращения ротора генератора, а, следовательно, и электрического тока упадёт. Для восстановления исходного значения частоты при увеличении нагрузки необходимо увеличить вращающий момент турбины. Для этого необходимо увеличить впуск рабочего тела (в нашем случае пара) в турбину в единицу времени, следовательно, мощность турбины увеличится, как и увеличится активная

мощность генератора. При уменьшении нагрузки процесс происходит аналогично, но в обратном направлении. [2]

Изменение впуска рабочего тела в турбину производится путём изменения степени открытия регулирующих клапанов тепловой турбины. Необходимость регулирования частоты определяется необходимостью обеспечения требуемого качества электрической энергии. При значительных отклонениях частоты изменяется производительность вращающихся установок и механизмов потребителей, нарушение технологических процессов, особенно это касается строительной, пищевой и машиностроительной отраслей.

В высоком качестве электроэнергии по частоте заинтересован не только потребитель, но и сам производитель, поскольку от стабильности частоты существенно зависят экономичность и надёжность процесса выработки, передачи и распределения электроэнергии[1].

1.3. Показатели качества частоты

Качество частоты как параметра электрической энергии оценивается по отклонению частоты.

Под отклонением частоты понимается алгебраическая разность между фактическим значением частоты электрического тока и ее номинальным значением в процессе медленного изменения:

$$\Delta f = f - f_{ном},$$

или в процентах

$$\Delta f = \frac{f - f_{ном}}{f_{ном}} \cdot 100\%,$$

По ГОСТ 32144 — 2013 устанавливаются нормально допустимое отклонение $\pm 0,2$ Гц и предельно допустимое отклонение $\pm 0,4$ Гц частоты. Качество электрической энергии по отклонению частоты считается соответствующим требованиям ГОСТ, если все измеренные в течение 24 ч

значения отклонения частоты не превышают предельно допустимые значения, а не менее 95 % всех измеренных значений отклонения частоты находятся в интервале, ограниченном нормально допустимыми значениями. Качество частоты может быть также оценено по суммарной продолжительности времени выхода ее за нормально допустимые значения. Эта продолжительность не должна составлять более 5 % от 24 ч. Выход за предельно допустимые значения не допускается.[3]

В целях улучшения качества регулирования частоты и приведения отечественных требований по частоте к показателям европейских энергосистем Стандартом организации ОАО «РАО ЕЭС России» установлены следующие нормы: нормальный уровень частоты - $(50 \pm 0,05)$ Гц; допустимый уровень частоты – $(50 \pm 0,2)$ Гц; время восстановления нормального уровня частоты - не более 15 мин.[3]

1.4. Общая характеристика проблемы регулирования частоты активной мощности в электроэнергетических системах

При организации АРЧМ в ЭЭС необходимо учитывать следующие особенности:

- установленные ГОСТом требования к точности регулирования частоты;
- необходимость баланса генерируемой и потребляемой мощности в ЭЭС, для сохранения значения частоты на номинальном уровне;
- значительные диапазоны возможных изменений потребляемой активной мощности в течение суток и на отдельных интервалах времени;
- ограниченные регулировочные диапазоны мощности агрегатов электрических станций;
- глобальный характер частоты как параметра электрической сети;

- влияние изменения активной мощности любого генерирующего источника на распределение мощности и в ЭЭС в целом и, следовательно, экономичность;

- влияние отклонения частоты на изменение перетоков мощности по межсистемным линиям электропередачи в ОЭС;

В состав АРЧМ входят следующие устройства:

- устройства автоматического регулирования перетока обменной мощности и частоты и автоматического ограничения перетоков, автоматические вторичные регуляторы на диспетчерских пунктах ЕЭС, ОЭС и энергосистем;

- устройства управления активной мощностью на электростанциях, привлекаемых к участию в автоматическом вторичном регулировании;

- каналы и средства связи и телемеханики для передачи контролируемых параметров и управляющих воздействий;

- датчики перетоков активной мощности и частоты[1].

1.5. Коэффициент статизма и зона нечувствительности регуляторов скорости турбины

Решение задачи регулирования скорости турбины при изменении частоты в энергосистеме осуществляется при помощи наклона статической характеристики автоматических регуляторов турбин (АРТ).

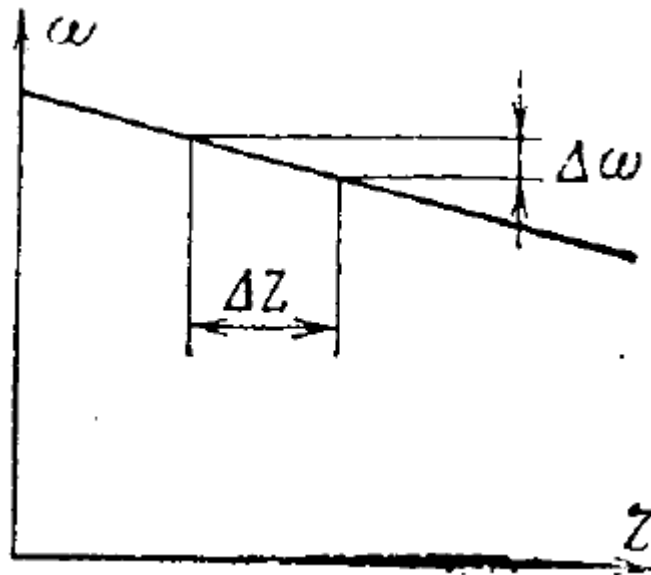


Рисунок 1 – статическая характеристика регулятора турбины

При отсутствии зоны нечувствительности статическая характеристика регулятора устанавливает согласно рис. 1 и уравнению

$$\omega + sZ = 0,$$

являющемуся математическим выражением закона регулирования, взаимно однозначное соответствие между значениями регулируемого параметра (в данном случае частоты вращения или пропорциональной ей частоты ω) и положением регулирующего органа Z турбины, определяющим нагрузку генератора (здесь s — статизм или степень неравномерности регулятора).

В настоящее время регулирование скорости турбины осуществляется путём непрямого воздействия, управление которым осуществляет механизм управления турбиной (МУТ). Назначение МУТ — управление режимом агрегата: частотой вращения до включения генератора в энергосистему, частотой и нагрузкой при параллельной работе с энергосистемой. Действие МУТ можно рассматривать как параллельное перемещение статической характеристики регулятора. Полагая нагрузку генератора однозначно и линейно связанной с положением регулирующего органа, можно рассматривать статическую характеристику в координатах частота-мощность, это позволяет говорить о статической характеристике не регулятора, а всего агрегата. Тогда закон регулирования запишем в виде:

$$\omega + sP = 0,$$

Исходя из рисунка 2, представленного ниже, видно, что распределение нагрузки между параллельно работающими агрегатами зависит от взаимного расположения статических характеристик, изменяемого с помощью МУТ, и от их наклона.

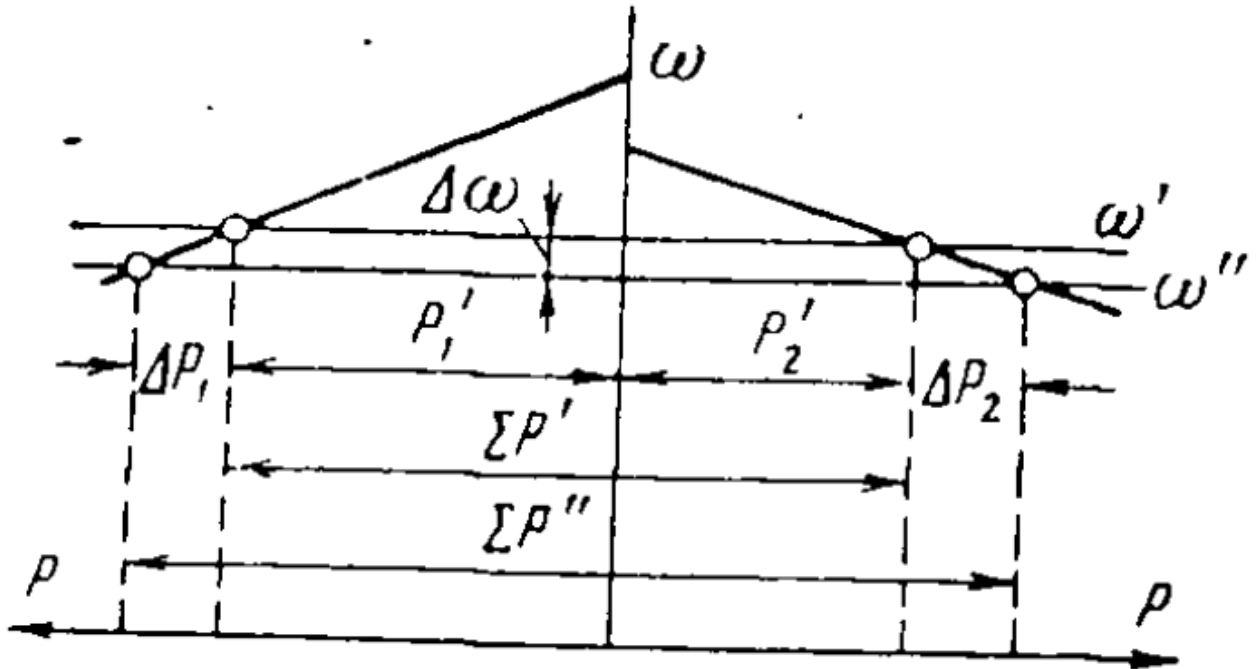


Рисунок 2 – распределение нагрузки между параллельно работающими агрегатами.

Наклон характеризуется величиной статизма:

$$s = \frac{\Delta \omega}{\Delta P} \cdot \frac{P_0}{\omega_0},$$

где $\Delta \omega$ и ΔP – изменение частоты и соответствующее изменение нагрузки агрегата, ω_0 и P_0 – номинальные значения этих величин.

Пользуясь выражением величины статизма можно определить долю общего изменения нагрузки энергосистемы, воспринимаемую определённым агрегатом:

$$\Delta P_i = \frac{P_{0i} / s_i}{\sum P_{0i} / s_i} \Delta P,$$

При наличии зоны нечувствительности регулятора к изменениям регулируемой величины появляется зона неопределенности в распределении нагрузки между агрегатами.

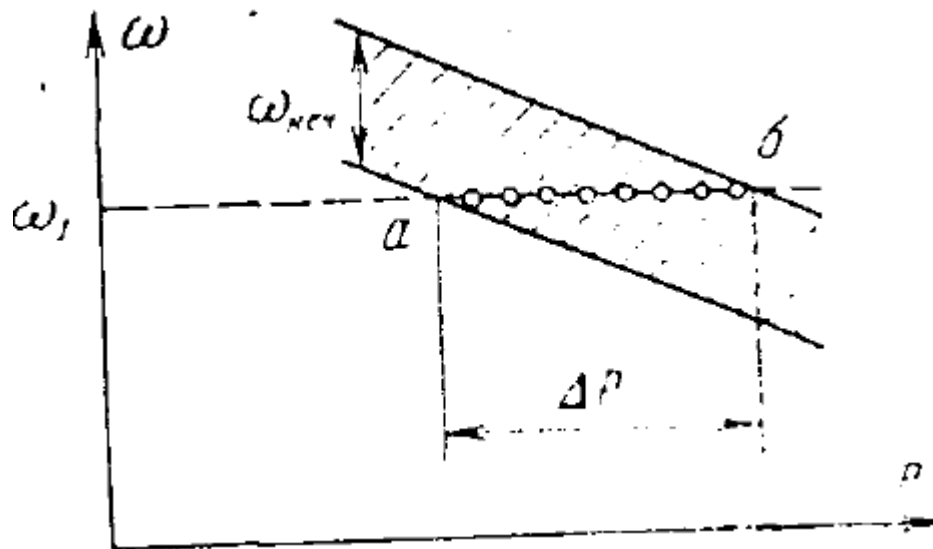


Рисунок 3 – статическая характеристика регулятора с зоной нечувствительности

На рисунке 3 две параллельные линии, отстоящие друг от друга по вертикали на величину зоны нечувствительности $\omega_{неч}$, ограничивают область возможных состояний регулятора и агрегата. Состояние характеризуется величинами частоты ω и нагрузки P , т. е. точкой в плоскости ωP , так называемой рабочей точкой. В установившемся режиме при данной частоте, например ω_1 , рабочие точки всех агрегатов расположены на линии $\omega = \omega_1$, но могут занимать случайные положения между указанными выше граничными линиями. Очевидно, что неопределённость в величине нагрузки агрегата составит в относительных единицах

$$\Delta P = \frac{\omega_{неч}}{s},$$

При данной величине $\omega_{неч}$, определяемой конструкцией и техническим состоянием регулятора, для увеличения точности распределения приходится увеличивать s , уменьшая тем самым точность поддержания частоты при данной величине колебаний нагрузки.

На паровых турбинах регулятор представляет одно целое с турбиной. Зона нечувствительности регуляторов и у современных турбин составляет по техническим условиям до 0,3%. Величина статизма оперативному изменению не поддается и составляет обычно 4 – 5% (по Правилам технической эксплуатации энергосистем должно быть $4,5 \pm 0,5\%$). В целом может составлять 3-6%. Очевидно, что точность распределения нагрузки, обеспечиваемая регуляторами паровых турбин, невелика:

$$\Delta P = \frac{\omega_{неч}}{s} = \frac{0,3}{4 \div 5} = 0,06 \div 0,075 \text{ о.е.}, 6 - 7\%,$$

Идти на дальнейшее увеличение s , однако, нельзя, так как это угрожает опасным для целости турбины увеличением максимального отклонения частоты вращения при сбросе нагрузки[2].

1.6. Описание математической модели первичного двигателя и АРЧМ

Кратко опишем математическую модель первичного двигателя и АРЧМ турбогенератора, некоторые моменты, которые необходимо учитывать при работе с такими моделями.

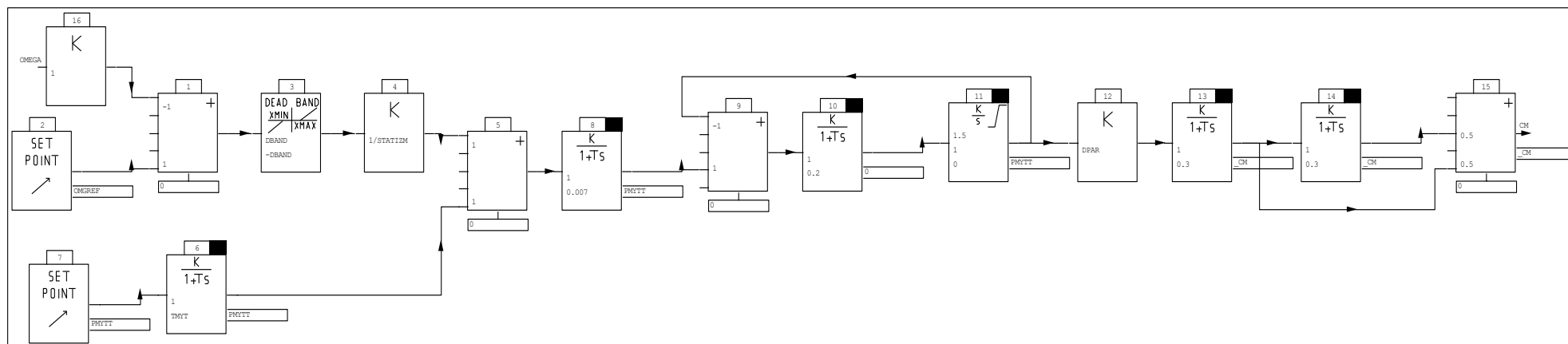
Каждая турбина в совокупности с её системой регулирования по существу имеет уникальные характеристики скорости набора и сброса мощности при изменении частоты, зависящие от ряда факторов, многие из которых также являются переменными величинами. Модели турбин и их системы регулирования должны учитывать особенности турбоагрегатов, чтобы с наибольшей точностью воспроизводить процессы, протекающие в первичном двигателе турбогенератора.

Опишем назначение каждого из блоков в приведённой ниже схеме:

- Блок №1. Суммирует значения параметров блоков 2 и 16, описание которых представлено ниже
- Блок №2. Заданное значение уставки частоты АРЧМ

- Блок №3. Значение зоны нечувствительности регулятора турбины
- Блок №4. Крутизна частотной характеристики регулятора турбины. Является обратной величиной статизма
- Блок №5. Суммирует параметры перечисленных выше блоков, а так же блоков 6 и 7, описание которых представлено ниже
- Блок №6. Передаточная функция механизма управления турбиной с её постоянной времени
- Блок №7. Заданное значение мощности турбины
- Блок №8. Промежуточный золотник регулятора турбины
- Блок №9. Суммирует параметры с блока №8 и 11, содержащего обратную связь
- Блок №10. Блок, содержащий передаточную функцию сервомотора регулятора турбины
- Блок №11. Степень открытия регулирующих клапанов части среднего и низкого давлений регулятора турбины
- Блок №12. Блок, содержащий информацию об эквивалентном объёме пара
- Блок №13. Передаточная функция эквивалентного парового объёма
- Блок №14. Промежуточный перегрев пара
- Блок №15. Параметры пара на выходе турбины
- Блок №16. Измеритель частоты ЭЭС.

В нашем случае математическая модель котла не используется: котёл представляется постоянным количеством пара на его выходе, с целью упрощения исследований математической модели в целом. Однако, в модели первичного двигателя обязательно учитываются такие параметры, как коэффициент статизма и зона нечувствительности регулятора частоты, именно их влияние на устойчивость работы турбогенератора будет показано далее.



C:\Расчет НАШ (север20, динамика3)\PM_1.frm



Рисунок 4 – структурная схема математической модели паровой турбины и АРЧМ

1.7. Обзор моделирующих устройств

1.7.1. Программно-вычислительный комплекс EUROSTAG

Программно-вычислительный комплекс EUROSTAG создан совместно Réseau de Transport d'Electricite (RTE), являющейся системным оператором энергосистемы Франции, и фирмой TRACTEBEL — научно-техническим центром, входящим в концерн SUEZ-TRACTEBEL. Программа предназначена для моделирования и анализа электромеханических переходных процессов в энергосистемах на временных интервалах от долей секунды до часов. При этом точность расчета не зависит от продолжительности моделируемого переходного процесса, поскольку реализованный в ПВК EUROSTAG алгоритм интегрирования дифференциальных уравнений автоматически подбирает шаг интегрирования в соответствии с точностью, необходимой пользователю.

При разработке ПВК EUROSTAG авторы ориентировали его на решение следующих задач:

- определение предельного времени отключения короткого замыкания;
- исследование процессов синхронизации энергосистем после крупных аварий;
- определение настроек для систем противоаварийного управления, устройств релейной защиты и автоматики;
- анализ причин возникновения и последствий аварийных возмущений в энергосистеме;
- анализ поведения энергосистемы при различных аварийных возмущениях (лавина напряжения, выпадение из синхронизма крупных электростанций и т. п.);
- разработка и настройка систем управления (регуляторы скорости турбин, АРВ генераторов, РПН трансформаторов и т. п.).

Для упрощения решения этих задач в ПВК было включено большое

количество моделей различных устройств (в основном в соответствии со стандартом IEEE) управления и регулирования, передач и вставок постоянного тока, гибких электропередач переменного тока, котлов, турбин и т. п. Наряду с интегрированными в ПВК «стандартными» моделями в ПВК EUROSTAG реализована возможность создания моделей различных устройств с помощью специализированного инструмента — модуля графического программирования. Этот модуль позволяет создавать модели непосредственно в графическом виде, используя набор стандартных блоков. Такой подход позволяет избежать большого количества ошибок, совершаемых при переводе блок-схем объектов моделирования на языки программирования.

Написанный на FORTRAN 77 и C/C++ ПВК EUROSTAG может быть установлен на компьютеры под управлением операционных систем UNIX, Windows NT, Windows 2000 или Windows XP.

В 2005 году программа была русифицирована и оснащена полностью русскоязычным интерфейсом

1.7.1.2. Структура ПВК EUROSTAG

ПВК EUROSTAG разделен на следующие модули:

- модуль преобразования данных для перехода к международным форматам данных;
- графический редактор схем и редактор файлов;
- графический редактор моделей, использующий для описания структуры моделей блок-схемы, в дальнейшем называемые макроблоками;
- расчетный модуль, позволяющий рассчитать установившийся электрический режим, смоделировать электромеханические переходные процессы и определить предельное время отключения короткого замыкания;
- постпроцессор для интерактивного анализа полученных результатов;

- модуль табличного вывода полученных данных.

1.7.1.3. Модели

Модели элементов энергосистемы остаются неизменными в процессе моделирования независимо от исследуемых явлений, т. е. используются одни и те же модели и для расчетов «короткой» динамики (длительность переходных процессов ограничена 3-5 секундами), и для расчетов длительных переходных процессов (тысячи секунд).

Рассмотрим основные элементы.

Моделирование синхронных машин выполнено согласно классической теории Парка. В ПВК EUROSTAG реализованы две модели:

- полная модель, в которой ротор представлен четырьмя эквивалентными обмотками: обмоткой возбуждения и демпферной обмоткой в оси d с индуктивной связью между ними и двумя демпферными обмотками в оси q ;
- упрощенная модель, в которой ротор представлен исключительно обмоткой возбуждения в оси d и нет обмоток по оси q .

В предлагаемой модели в уравнениях статора традиционно пренебрегается трансформаторными ЭДС относительно ЭДС вращения, но при этом сохраняется зависимость внутренних потоков от частоты электрической сети. Насыщение магнитных цепей в реализованной модели может быть учтено двумя способами: путем учета магнитного насыщения (коррекцией параметров генератора) в начальный момент времени или в течение всего времени моделирования.

В модели синхронной машины может быть учтен повышающий трансформатор. Также пользователю предоставляется возможность выбора метода задания параметров генератора либо его «внешними» параметрами (реактансы и постоянные времени), либо «внутренними» параметрами (взаимные индуктивности, сопротивления утечки).

1.7.1.3. Асинхронные машины

Асинхронная машина может быть представлена двумя разными моделями:

- полной моделью, в которой учитываются переходные процессы в роторе в предположении, что на роторе находится двойная короткозамкнутая обмотка. Кроме того, эта модель предусматривает реалистичное воспроизведение электрического момента при пуске двигателя и работе под нагрузкой с небольшим скольжением;
- упрощенной моделью, в которой пренебрегается переходными процессами в роторе, и которая предназначена в основном для моделирования нагрузки. Эта модель ведет себя подобно пассивной нагрузке, и не привносит никакого изменения в мощность короткого замыкания.

1.7.1.4. Линии электропередачи

Линии электропередачи представляются классической моделью — П-образной схемой замещения, в которой продольная часть представляет собой комплексное сопротивление $Z_{\text{лин}} = R + jX$, а поперечная часть — комплексную проводимость $Y_{\text{лин}} = G + jB$. При расчете электромеханических переходных процессов учитывается зависимость параметров линии электропередачи от частоты в системе.

В ПВК EUROSTAG реализованы четыре модели трансформатора:

- упрощенная с фиксированным действительным коэффициентом трансформации;
- упрощенная с комплексным коэффициентом трансформации, регулируемым в ходе расчета установившегося режима;
- упрощенная с фиксированным комплексным коэффициентом трансформации;

- подробная модель трансформатора, коэффициент трансформации которого может регулироваться как в ходе расчета установившегося режима, так и в ходе расчета динамики.

1.7.1.5. Устройства компенсации реактивной мощности

Модель компенсирующего устройства (УКРМ) представляет собой набор реакторов или конденсаторных батарей, коммутируемых ступенчато. Для расчета установившегося режима задается узел подключения УКРМ, мощность одной ступени, общее количество ступеней и номер текущей ступени. Если есть необходимость обеспечить управляемость УКРМ, то в ходе расчета динамики можно изменять количество включенных ступеней. Переключения контролируются защитным устройством, параметры которого задаются в файле данных динамики.

1.7.1.6. Шины бесконечной мощности

Шины бесконечной мощности — узел электрической сети, где модуль, фаза и частота напряжения не изменяются в ходе переходных процессов.

Модель шин бесконечной мощности представляет собой источник постоянного по величине, частоте и фазе напряжения, включенный за некоторое сопротивление. Наличие в модели шин бесконечной мощности означает, что при любых возмущениях (кроме потери синхронизма отдельными генераторами) синхронные машины будут возвращаться к своей номинальной частоте вращения.

1.7.2. Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем

Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС) разработан в Энергетическом институте Томского политехнического университета, представляет собой

специализированную многопроцессорную программно-техническую систему гибридного типа, предназначенную для непрерывного воспроизведения в реальном времени и на неограниченном интервале процессов в оборудовании и трехфазной ЭЭС в целом при всевозможных нормальных, аварийных и послеаварийных режимах их работы. ВМК РВ ЭЭС обладает следующими свойствами и возможностями:

- математическая модель СГ реализуется системой полных уравнений Парка-Горева, в которых наряду с другими параметрами учтены активные сопротивления статора, ЭДС трансформации и ЭДС скольжения, чем, учитывая, что все сетевые элементы, модели которых описаны далее, также описываются системами дифференциальных уравнений, обеспечивается достаточно адекватное воспроизведение апериодической составляющей в токах и напряжениях защищаемых объектов ЭЭС. В модели СГ предусмотрена возможность строгого непрерывного преобразования определяемых в системе d, q переменных в трехфазную систему и обратно ($d, q \leftarrow \rightarrow a, b, c$). Математические модели систем возбуждения СГ учитывают конкретные типы устройств автоматического регулирования возбуждения (АРВ), систем управления первичным двигателем (котлоагрегата и тепловой турбины, гидротурбины) и других значимых систем управления в ЭЭС, в том числе АРЧМ. Предусмотрена корректировка параметров роторных контуров в режимах, связанных с их пуском и остановкой, реализуемая соответствующей кусочно-линейно аппроксимированной функцией, программируемой в микропроцессоре специализированных гибридных процессоров (СГП) электрической машины и отражающей зависимость соответствующих сопротивлений роторных контуров от частоты;

- модель СД выполнена аналогично модели СГ с учетом принципиального различия в исходно противоположном направлении электромагнитного и механического моментов, а также в иной физической сущности последнего, который для СД является моментом сопротивления

приводимого механизма; в моделях СГ и СД учтены имеющиеся различия и специфика используемых моделей систем возбуждения и АРВ;

- модель АД выполнена аналогично модели СД с учетом отсутствия у АД системы возбуждения и выполнения обмотки ротора замкнутой накоротко;

- модели ТР, АТ реализуемые в СГП ТР (АТ) системой дифференциальных уравнений, учитывают: число обмоток (возможно моделирование двух-, трехобмоточных ТР, ТР с расщепленной обмоткой, АТ); группу соединения обмоток (звезда, треугольник, зигзаг); режим работы нейтрали (глухо-заземленная, эффективно-заземленная, изолированная); коэффициент трансформации в соответствии с номером отпайки РПН, ПБВ соответственно при их наличии. Указанные свойства позволяют моделировать всевозможные аварийные режимы, учитывая бросок тока намагничивания ТР, АТ, работу автоматики регулирования напряжения (АРН) и другие значимые для настройки ДЗ факторы в конкретных условиях функционирования ЭЭС;

- батареи статических конденсаторов реализуются физическими емкостями, коммутируемыми с моделируемой трехфазной моделью электрической сети на физическом уровне в СГП, чем обеспечивается естественный учет протекающих в них процессов;

- математические модели статических нагрузок, управляемых и неуправляемых шунтирующих реакторов реализованы системами решаемых в СГП дифференциальных уравнений, предусматривающих учет их активных и реактивных параметров, также адаптированных при помощи соответствующих ДПНУ для наблюдения и управления пользователем;

- в специализированном программном обеспечении ВМК РВ ЭЭС предусмотрена возможность формирования массивов мгновенных значений токов и напряжений элементов трехфазной электрической сети в формате COMTRADE

3. «ФИНАСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

3.1. Анализ конкурентных технических решений

Целью данного раздела является определение экономической целесообразности исследования математической модели первичного двигателя турбогенератора. Рассматриваемыми объектами будут являться модели первичного двигателя с учётом таких параметров, как коэффициент статизма и зона нечувствительности, так и без них.

В данном разделе будут рассмотрены следующие задачи:

- оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной эффективности исследования.

В данной работе рассматриваются два типа математических моделей первичного двигателя турбогенератора: с учётом коэффициента статизма и зоны нечувствительности (полная модель) и без него (упрощенная модель). Инструментом для реализации данной модели служит программно-вычислительный комплекс EUROSTAG. Так же полученные результаты будут сравниваться со Всережимным моделирующим комплексом (ВМК), разработанным в Томском политехническом университете. Ввиду наличия двух типов моделей, необходимо провести экспертную оценку и доказать, что полная модель первичного двигателя является наиболее предпочтительным вариантом.

Детальный анализ конкурирующих моделей, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку с развитием технологий появляются возможности для реализации более полных и сложных математических моделей.

Такой анализ позволит наглядно охарактеризовать две модели. Для проведения данного анализа используем оценочную карту (таблица 1).

Наивысший бал – 5 (наивысшая точность, наиболее проста в разработке и исследовании и т.п.), соответственно, низший – 1 (наименьшая точность, наиболее трудна в разработке и исследовании и т.п.). Суммарный вес всех показателей должен составлять 1.

Таблица 1. Оценочная карта конкурентных технических решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Полная модель	Упрощенная модель	Полная модель	Упрощенная модель
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Достоверность	0,2	5	4	1	0,8
2. Полнота	0,2	5	4	1	0,8
3. Адекватность	0,15	5	4	0,75	0,6
4. Учитываемые параметры	0,1	5	3	0,5	0,3
5. Сложность реализации	0,1	3	5	0,3	0,5
6. Требования к персоналу	0,09	3	4	0,27	0,36
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена	0,1	4	5	0,4	0,5
2. Распространенность	0,06	3	5	0,4	0,5
Итого	1	36	34	4,62	4,36

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i = 0,2 * 2 = 0,4$$

где К - конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i - вес показателя (в долях единицы);

B_i - балл i -го показателя.

По результатам анализа видно, что полная модель является наиболее предпочтительным вариантом, однако она предъявляет более высокие требования к персоналу и её стоимость выше упрощенной модели. Однако,

ввиду незначительной разницы результатов анализа для полной упрощенной модели, проведём SWOT-анализ полной модели для выявления её сильных и слабых сторон.

3.2. SWOT-анализ

В данном разделе работы проводится SWOT анализ, который позволит наиболее правильно выявить сильные и слабые стороны полной модели, а так же выявить влияние проекта на внутреннюю и внешнюю среды.

S - strengths - сильные стороны;

W - weaknesses - слабые стороны;

O - opportunities - возможности;

T - threats - угрозы.

Результаты SWOT анализа сведем в таблицу 2.

Таблица 2. Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны 1) Высокая точность моделирования; 2) Уменьшение возможности попадания регуляторов первичного двигателя в зону нечувствительности; 3) Высокая адекватность модели;	Слабые стороны 1) Высокая стоимость; 2) Требования высокой квалификации к специалистам; 3) Более длительное время разработки модели; 4) Более длительный расчёт модели
Возможности 1) Более точная отстройка автоматики; 2) Увеличение скорости оперативных переключений; 3) Улучшение и модернизация модели на фоне мировой конкуренции;	1) Точная математическая модель позволит узнать зоны нечувствительности регулятора частоты, что позволит предотвратить аварии в энергосистеме; 2) Тонкая настройка автоматики позволит избежать наибольшее количество ложных срабатываний	1) В следствие высокой стоимости модели и исследований возможны проблемы с финансированием; 2) Для избегания аварийных ситуаций и сохранения оборудования потребуется обучение и повышение квалификации персонала; 3) Необходимость современного и дорогостоящего

		программного обеспечения для разработки модели
Угрозы 1) При высокой стоимости модели и исследований отказ от них; 2) Отказ от учёта коэффициента статизма и зоны нечувствительности в ныне существующих моделях; 3) Переквалификация персонала	1) При высокой адекватности модели и достоверности результатов, возможно дополнительное финансирование исследований; 2) Обладая высоким коэффициентом надёжности и чувствительностью к авариям, автоматика может выглядеть предпочтительней в сравнении с аналогами	1) Высокая стоимость исследований может сказаться на стоимости устройств автоматики, ввиду возможного усложнения их конструкции; 2) Высокая стоимость автоматики может привести к отказу в покупке

В результате проделанного анализа можно сделать вывод, что в настоящее время, благодаря быстрому развитию средств моделирования режимов энергосистем, наиболее правильно и адекватно использовать полную модель первичного двигателя турбогенератора. Достоинства полной модели очевидны, а все проблемы, в основном, связаны с её высокой стоимостью.

3.3. Планирование научно-исследовательских работ

3.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В целях выполнения предложенного научного исследования была сформирована группа, в составе руководителя темы и инженера-проектировщика. Составим перечень этапов и работ проведения данного исследования, распределим исполнителей по виду работ. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Проектировщик
	3	Выбор направления исследований	Руководитель темы
			Проектировщик
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель темы
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Анализ исходных данных	Проектировщик
	6	Изучение комплекса ВМК и Eurostag	
	7	Моделирование работы автоматики в ВМК	
	8	Моделирование работы автоматики в Eurostag	
Обобщение и оценка результатов	9	Сравнение полученных результатов	Проектировщик
	10	Оценка адекватности математической модели	Проектировщик
Контроль и координирование проекта	11	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель темы
Оформление отчета о проделанной работе	12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Проектировщик

3.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Для оценки трудоемкости выполнение данной работы проанализируем ее экспертным путем в человеко-днях, просчитать все является невозможным, так как многие события носят вероятностный характер, зависящий от множества непредсказуемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 10}{5} = 7,6 \approx 8 \text{ чел.-дн.}$$

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

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

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

Принимая во внимание ожидаемую трудоёмкость работы, определяем продолжительность каждой из них в рабочих днях T_p , которая учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями (руководителем и инженером). Предложенный способ вычисления служит для обоснованного расчёта заработной платы, поскольку её вес в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 45 %.

Данный расчет необходим для обоснования расчета заработной платы.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} = \frac{8}{1} = 8 \text{ дней}$$

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

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

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

Сведем все данные по продолжительности работы в таблицу 4. При сведении необходимо учитывать округлении длительности работ, если работа переносится на часть следующего дня.

Таблица 4. Данные по показателям продолжительности работ

№ п/п	Перечень работ	Трудоемкость, чел.-дней.	Количество исполнителей	Длительность, чел.-дней.
1	Анализ литературы по теме исследовательской работы	7,6	1	8
2	Выбор наиболее удобных моделирующих комплексов	2,8	2	3
3	Изучение программно-моделирующего комплекса ВМК	2,4	1	3
4	Изучение программно-моделирующего комплекса Eurostag	2,4	1	3
5	Создание математической модели в Eurostag	16,6	1	17
6	Моделирование возмущений в Eurostag	4	1	4
7	Моделирование возмущений в ВМК	4	1	4
8	Анализ полученных данных, сравнение различных методов.	10	1	10
9	Подготовка отчетов и записок по проекту	5	1	5
10	Общая проверка расчетов и других данных, согласование с различными факторами	2,4	2	2
11	Сдача проекта	1,4	2	1

Посчитаем необходимое количество календарных дней для выполнения работы, для этого найдём сумму рабочих дней, необходимых для выполнения исследований, а затем умножим найденные значения на коэффициент календарности.

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48;$$

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22$$

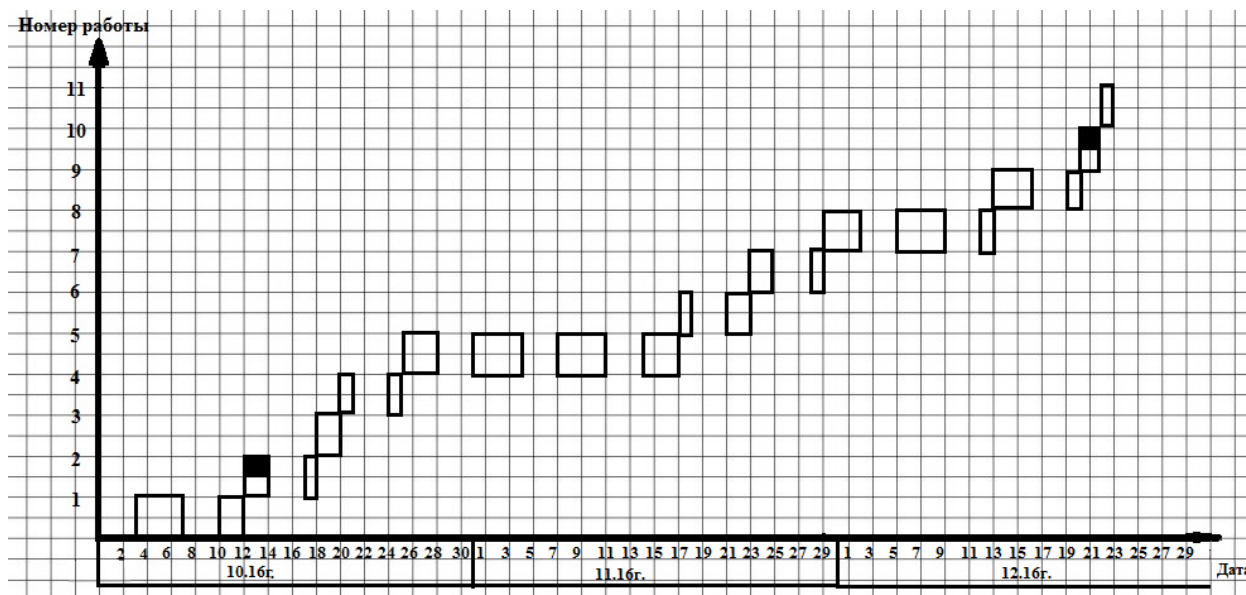


Таблица 5. Итоговая таблица

	Кол-во дней
Общее количество рабочих/календарных дней для выполнения работы	59/88
Общее количество рабочих/календарных дней, в течение которых работал инженер	59/88
Общее количество рабочих/ календарных дней, в течение которых работал руководитель	5/7

3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе планирования НТИ необходимо обеспечение полного и достоверного отражения всех видов расходов, связанных с его выполнением. Для реализации этого будет использована следующая группировка затрат по статьям:

- расчет стоимости программного обеспечения и оборудования;
- амортизация;
- основная заработная плата;
- дополнительная заработная плата;
- страховые отчисления;
- накладные расходы.

3.4.1. Расчет стоимости программного обеспечения и оборудования

Таблица 6. Затраты на программное обеспечение

№	Наименование программы	Количество компьютеров на которых задействована программа	Цена одной программы, тыс. руб.	Общая стоимость программ, тыс. руб.
1	Microsoft Office Professional 2013	1	5,2	5,2
2	Microsoft Office Excel 2013	1	5,2	5,2
3	ПВК Eurostag	1	20	20
Итого				30,4

Таблица 7. Оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	1	45	45
Итого:				45 тыс. руб.

3.4.2. Расчет амортизации

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование и ПО (программное обеспечение). В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования для выполнения данной работы. Расчет амортизации проводится следующим образом:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где H_A – норма амортизации;

n – срок полезного использования в количествах лет.

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m$$

где I – итоговая сумма в тыс.руб.;

m – время использования в месяцах.

Рассчитаем амортизацию для компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года.

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,34$$

$$A_{по} = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,34 \cdot 45000}{12} \cdot 3 = 3,825 \text{ тыс.руб}$$

Аналогичным образом рассчитываем амортизацию для ВМК. В результате расчёта амортизация равна 8 тыс.руб.

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = A_o + A_{o2} = 3,825 + 8 = 11,825 \text{ тыс.руб}$$

3.4.3. Основная заработная плата исполнителей работ

В данном пункте будет рассчитана заработная плата руководителя и проектировщика. Так же необходимо рассчитать расходы по заработной плате которые определяются трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Приведем формулу для расчета основной заработной платы ($Z_{осн}$) руководителя от предприятия:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для 5- дневной недели (инженер):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{26520 \cdot 11,2}{213} = 1401,1 \text{ руб.},$$

Для 6- дневной недели (руководитель):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{26520 \cdot 10,4}{247} = 1116,6 \text{ руб.},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.:

Для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,1 + 0,1) \cdot 1,3 = 26520 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,1 + 0,1) \cdot 1,3 = 26520 \text{ руб.}$$

где $Z_{\text{мс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,1;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,1;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней – $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 8).

Таблица 8. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней	58+8	111+8
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48+5	24+10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	213

Таблица 9. Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{мс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, Руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	17000	0,1	0,1	1,3	26520	1116,6	5	5583
Проектировщик	17000	0,1	0,11	1,3	26520	1401,1	59	82664,9

Итого:	88247,9
--------	---------

Где, T_{pi} – длительность работ в рабочих днях.

3.4.5. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Определим дополнительную заработную плату:

Руководитель: $Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 5583 = 837,45$ (руб.),

Инженер: $Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 88247,9 = 13237,2$ (руб.),

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

3.4.6. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

Расчет величины внебюджетных отчислений для проектировщика и руководителя:

Руководитель:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (5583 + 837,45) = 1739,9 \text{ (руб)}$$

Проектировщик:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (82664,9 + 13237,2) = 25989,5 \text{ (руб)}$$

В России для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, вводится пониженная ставка на страховые взносы – 27,1%.

3.4.7. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации в том числе оплата электроэнергии, оплата транспортных расходов и так далее. Принимается 16% коэффициент накладных расходов. Рассчитаем расходы:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} = 172276,95 \cdot 0,16 = 27564,3 \text{ (руб);}$$

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

3.4.8 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования

В данном пункте рассмотрим все получившиеся затраты и определим их процентную долю в проведении исследования. Данный пункт приводится в качестве основного при формировании договора с заказчиком.

Таблица 10. Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Всего, руб.	Доля, %
1. Расчет стоимости программного обеспечения	30400	15,2
2. Амортизация	11825	5,9
3. Основная заработная плата	88247,9	44,1
4. Дополнительная заработная плата	14074,65	7,1
5. Страховые отчисления	27729,4	13,9
6. Накладные расходы	27594,3	13,8
7. Бюджет затрат НТИ	199841,3	100

Проанализировав таблицу 10 можно увидеть что общий бюджет проекта составил 199841,3 руб. Наибольшие доли затрат приходятся на программное обеспечение для него - 30400 руб., что составляет 15,2%, а также на заработную плату – 88247,9 руб., что составляет 44,1%. Наименьшая доля затрат приходится на амортизацию - 11825руб., что составляет – 5,9%

3.5. Ресурсоэффективность

Для определения ресурсоэффективности научного исследования необходимо использовать интегральный критерий ресурсоэффективности, находящийся по формуле:

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

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

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

Рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности и сведём полученные данные в таблицу 11.

Таблица 11. Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Точность модели	0,25	5
2. Адекватность её работы	0,25	5
3. Точность характеристик полученных в результате исследования	0,2	5
4. Надежность используемых методов расчёта	0,15	4
5. Простота эксплуатации установки	0,15	3
Итого:	1	4,55

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,55$$

Проведенная оценка ресурсоэффективности научного исследования дает достаточно хороший результат (4,55 из 5), что свидетельствует об эффективности его реализации.

Полученный результат в виде интегрального показателя ресурсоэффективности проекта является значимым при выполнении данного исследования. Высокое значение коэффициента свидетельствует о том что, эффективно проводить данное научное исследование. В результате выполнения поставленных задач, можно сделать следующие выводы:

- Проведен анализ конкурентных технических решений, по которому стало понятно, что использование и исследование математической модели с учётом коэффициента статизма и зоны нечувствительности

занимает больше времени, однако более точно отображает процессы, происходящие в первичном двигателе турбогенератора.

- SWOT – анализ позволил оценить сильные и слабые стороны проекта, возможные угрозы при использовании полной модели вместо упрощенной. В результате анализа проявились очевидные преимущества полной модели перед упрощенной, а наиболее серьезной проблемой является её повышенная стоимость.

- В ходе проведения планирования был составлен план-график совместной и индивидуальной работы, как руководителя, так и инженера. Данный анализ позволил эффективно распределить рабочее время исполнителей. Итоговое количество дней необходимых для выполнения работы составило – 59 рабочих дней, количество дней в которые работал проектировщик, составило - 59 рабочих дней, количество дней в которые работал руководитель – 5 рабочих дней.

- Анализ затрат на реализацию проекта позволил составить бюджет научного исследования, сумма затрат составила – 199841,3 тыс. руб.

Проведённая оценка ресурсоэффективности даёт результат 4,55 из 5, что свидетельствует об эффективности реализации данного научного исследования.