

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

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Кафедра парогенераторостроения и парогенераторных установок (ПГС и ПГУ)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование эксплуатационных характеристик камеры сгорания ГПА-16У в составе компрессорной станции газотранспортной системы

УДК _____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4Б	Пашковский Роман Витальевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. кафедрой ПГС и ПГУ	Заворин Александр Сергеевич	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПГС и ПГУ	Заворин Александр Сергеевич	д.т.н		

Томск – 2016 г.

**Планируемые результаты обучения по ООП
13.04.03 «Энергетическое машиностроение»**

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Универсальные компетенции		
P1	Способность и готовность самостоятельно учиться и развивать свой общекультурный и интеллектуальный уровень, изменять свой научный и научно-производственный профиль в течение всего периода профессиональной деятельности с учетом изменения социокультурных и социальных условий, вести педагогическую работу в области профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-11), Критерий 5 АИОР (п. 2.6.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Способность проявлять и использовать на практике навыки и умения организации работ по решению инновационных инженерных задач в качестве члена или руководителя группы, нести ответственность, в том числе в ситуациях риска, за работу коллектива с применением правовых и этических норм при оценке и самооценке профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов и проблемных инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ОК-2; ОПК-1; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.3., п. 2.4., п. 2.5.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Готовность и способность приобретать и применять новые знания и умения с использованием методологических основ научного познания и библиографической работы с привлечением современных технологий, понимать роль информации в развитии науки, анализировать её естественнонаучную сущность, синтезировать и творчески применять при решении инновационных профессиональных задач	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Способность и готовность проявлять в инновационной деятельности глубокие	Требования ФГОС ВО (ОК-1; ОПК-1),

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте	Критерий 5 АИОР (п. 1.1.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной сфере и в обществе в целом, принимать нестандартные решения с использованием новых идей, разрабатывать, оформлять, представлять и докладывать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке	Требования ФГОС ВО (ОК-2,3;ОПК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Профессиональные компетенции		
P6	Способность и готовность выполнять инженерные проекты с использованием современных технологий проектирования для разработки конкурентно способных энергетических установок с использованием знаний теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах и аппаратах	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.3.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Способность и готовность ставить и решать инновационные задачи инженерного профиля, анализировать, искать и вырабатывать компромиссные решения с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний в условиях неопределенности, использовать методы решения задач оптимизации параметров в различных сложных системах	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Способность и готовность проводить инновационные инженерные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, формулировать выводы в условиях неоднозначности с применением глубоких теоретических и экспериментальных	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-4,5,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4, п. 1.6.), согласованный с требованиями международных

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию	стандартов EUR-ACE и FEANI
Р9	Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы, современных технологий по утилизации отходов в энергетическом машиностроении и теплоэнергетике и научно-техническую политику в этой области	Требования ФГОС ВО (ОПК-1; ПК-7,8,9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р10	Способность и готовность к эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях, готовность следовать их корпоративной культуре	Требования ФГОС ВО (ПК-9,10), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.1.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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

Институт Энергетический

Направление подготовки (специальность) 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Кафедра парогенераторостроения и парогенераторных установок (ПГС и ПГУ)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ПГС и ПГУ

(Подпись) _____ (Дата) А.С. Заворин
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ВМ4Б	Пашковскому Роману Витальевичу

Тема работы:

Исследование эксплуатационных характеристик камеры сгорания ГПА-16У в составе компрессорной станции газотранспортной системы

Утверждена приказом директора (дата, номер)

от 03.02.2016 № 715/с (№ 3934/с)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

1. Объект исследования – трубчато-кольцевая камера сгорания газоперекачивающего агрегата ГПА16-У.
2. Тип топлива – природный газ.
3. Технические требования (задание) к проектированию камер сгорания газотурбинных двигателей.
4. Технические (эксплуатационные) характеристики (паспортные данные) ГПА-16У.

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>	1. Введение (актуальность, перспективное развитие, научная новизна, практическая ценность). 2. Анализ литературных источников, норм проектирования, ГОСТов, стандартов по теме: «Камеры сгорания газоперекачивающих агрегатов (газотурбинных двигателей)», «Моделирование объектов». 3. Анализ исходных данных и постановка задачи. 4. Расчет основных показателей работы эксплуатированной камеры сгорания при различных нагрузках ГПА. 5. Моделирование процессов горения в камере сгорания, исследование параметров среды: основных теплофизических и аэродинамических характеристик. 6. Сравнительный анализ полученных результатов. 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8. Социальная ответственность. 9. Заключение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Общий вид камеры сгорания (1 лист). 2. Результаты численного моделирования (1 лист). 3. Презентационная работа.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Раздел на английском языке	Исакова Юлия Ивановна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Методы решения поставленной задачи	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику			01.02.2016	
Задание выдал руководитель:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ПГС и ПГУ	Заворин Александр Сергеевич	д.т.н.		01.02.2016
Задание принял к исполнению студент:				
Группа	ФИО		Подпись	Дата
5ВМ4Б	Пашковский Роман Витальевич			01.02.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 132 страниц, 14 рисунков, 18 таблиц, 21 источника, четырех приложений.

Ключевые слова: ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЙ АГРЕГАТ, ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, КАМЕРА СГОРАНИЯ, ЖАРОВАЯ ТРУБА, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ.

Объектом исследования является камера сгорания газоперекачивающего агрегата (ГПА-16У) в составе компрессорной станции газотранспортной системы.

Цель работы – изучение газодинамических и эксплуатационных характеристик камеры сгорания в различных нагрузках газоперекачивающего агрегата путем расчета температурного состояния и численного моделирования исследуемого объекта с использованием программного обеспечения ANSYS, а также формирование опытной информации для дальнейшего применения при эксплуатации.

В результате исследования получены эксплуатационные характеристики и модель рабочего состояния камеры сгорания при различных нагрузках в период эксплуатации.

Область применения: газоперекачивающее оборудование, газотурбинные (авиационные) двигатели.

Экономическая эффективность и значимость работы существенно влияет на разработку рекомендаций для дальнейшего проектирования, производства и эксплуатации камеры сгорания и газоперекачивающего агрегата.

В будущем планируется более подробное изучение эксплуатационных характеристик камер сгорания в различных режимах работы с целью предотвращения нештатных ситуаций.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 10433-75 Основные параметры газотурбинного топлива;

ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума.

Классификация;

ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;

ГОСТ 12.2.016-81 ССБТ. Оборудование компрессорное. Общие требования безопасности;

ГОСТ 20440-75 Установки газотурбинные. Методы испытаний;

ГОСТ 28775-90 Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом;

ГОСТ 51852-2001 Установки газотурбинные. Термины и определения;

ГОСТ 272240-87 Установки парогазовые. Типы и основные параметры;

ГОСТ 24402-2011 Энергосбережение. Установки газотурбинные. Общие технические требования.

Термины и определения

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

газоперекачивающий агрегат: устройство, предназначенное для компримирования природного газа на компрессорных станциях газопроводов и в подземных хранилищах;

исследование: поиск новых знаний или систематическое расследование с целью установления факторов;

камера сгорания: объем, предназначенный для сжигания газообразного, жидкого или твердого топлива;

численное моделирование: компьютерная программа, реализующая представление объекта, системы или понятия форме, отличной от реальной, но приближенной к алгоритмическому описанию;

эксплуатационные характеристики: совокупность показателей и измерителей, характеризующих эффективность использования объекта в соответствии с его назначением.

Обозначения, сокращения

В настоящей работе использованы следующие обозначения и сокращения:

ГПА – газоперекачивающий агрегат;

ГТД – газотурбинный двигатель;

ГТУ – газотурбинная установка;

ЖТ – жаровая труба;

ЗП – заработная плата;

КК – кольцевой канал;

КС – камера сгорания;

КЦ – компрессорный цех;

МГ – магистральный газопровод;

НТД – нормативно техническая документация;

ОК – осевой компрессор;

СО – система отверстий;

ТВД – турбина высокого давления;

ТВС – топливовоздушная смесь;

ТО – технологическое оборудование;

ТЗ – техническое задание;

ФУ – форсуночное устройство.

Оглавление

Введение.....	11
1. Обзор литературы.....	14
2. Объект и методы исследования.....	16
2.1 Камера сгорания.....	16
2.2 Численное моделирование.....	24
3. Методы решения поставленной задачи	31
3.1 Гидравлический (газодинамический) расчет.....	31
3.2 Тепловой расчет.....	34
3.3 Численное моделирование исследуемого объекта.....	37
4. Результаты проведенного исследования.....	40
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсообеспечение.....	44
5.1 Проведение предпроектного анализа.....	44
5.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	54
5.3 Бюджет исследования.....	57
5.4 Организация структуры проекта.....	62
5.5 Сравнительный анализ эффективности.....	64
5.6 Выводы по главе.....	57
6. Социальная ответственность.....	70
6.1 Описание рабочего места.....	70
6.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	71
6.3 Анализ выявленных опасных факторов.....	75
6.4 Защита в чрезвычайных ситуациях.....	86
6.5 Выводы по главе.....	88
Заключение.....	89
Список публикаций.....	91
Список используемых источников.....	93
Приложение А Общий вид камеры сгорания.....	96
Приложение Б Численные результаты исследования.....	97
Приложение В Результаты численного моделирования.....	113
Приложение Г Раздел на иностранном языке.....	114

Введение

Для осуществления транспортировки газа посредством магистрального газопровода на компрессорной станции используют газокomppressorный или газоперекачивающий агрегат (ГПА), основной задачей которого является повышение давления и перемещения рабочего тела (газа) путем преобразования тепловой энергии теплоносителя в механическую[4].

Современные тенденции развития технологий ставят перед собой новые задачи исследования работоспособности газотурбинного двигателя (ГТД) и их элементов. Повышение надежности и долговечности основного оборудования ГТД является определяющим фактором для повышения роста конкурентоспособности изделий. В связи с ограниченностью ресурсов появляется необходимость поиска более экономичных способов сжигания топлива.

Использование ГТД на компрессорных станциях связано с высокой энергоемкостью, автономностью, и отсутствием подвода дополнительной энергии.

Газокomppressorный агрегат (рисунок 1) состоит из множества элементов и представляет собой сложную энергетическую установку. Одной из основных особенностей ГПА является зависимость характеристик при эксплуатации от параметров процесса горения, состава топлива, условий его подготовки, а также методов сжигания.



Рисунок 1 – Газоперекачивающий агрегат

Возможность широкого диапазона регулирования параметров агрегата влияет на следующие характеристики: скорость вращения, мощность, КПД и т.д. При проектировании компрессорных станций это позволяет принять обоснованные решения и разработать оптимальные системы технического обслуживания и ремонта ТО.

Независимо от типа агрегата основным конструктивным элементом ГПА является камера сгорания. Надежность пуска и работы КС, ее экономичность и долговечность определяют аналогичные показатели ГТД. Организация рабочего процесса в КС ГТД существенно отличается от организации рабочего процесса в других топливосжигающих устройствах. Горение топлива в КС является основой рабочего процесса: химическая реакция, сложный теплообмен, диффузия, турбулентное перемешивание топливовоздушных и газовых потоков, испарение, газификация и др. Обычно горение происходит в условиях трехмерного турбулентного неоднородного течения и определяет в целом экологические характеристики и эффективность работы двигателя. Одним из показателей надежности КС является срок ее эксплуатации и возможные повреждения ее основных частей. Организация охлаждения стенок ЖТ является важным критерием при конструировании КС[4].

Сложность и недостаточная изученность процессов в таких течениях не позволяют разработать надежные методы аналитического расчета КС и ее надежности. В настоящее время проектирование в значительной степени связано с использованием опыта создания действующих образцов и практических исследований.

В создании теории горения и исследования рабочего процесса реальных конструкций КС ведущую роль занимают отечественные ученые: Б.П. Лебедев, Б.В. Раушенбах, Ю.М. Пчелкин, и др. Развитие теории и новейших достижений в данной отрасли в значительной мере определяются результатами работ и исследований, проведенных коллективами отечественных научно-исследовательских институтов,

турбостроительных заводов и вузов: РГУ им. И.М. Губкина, ВНИИГАЗ, УГНТУ и др.

В данной работе объектом исследования является камера сгорания газоперекачивающего агрегата 16 МВт на базе газотурбинной установки ГПА-16У с газотурбинным двигателем.

В последнее время актуальным направлением является комплексный подход к оценке надежности и эффективности объектов МГ на основе численного и математического моделирования.

При анализе результатов испытаний часто приходится использовать эмпирические данные, полученные в процессе разработки предыдущих образцов камер сгорания и в экспериментах на моделях камер сгорания и их элементах. В настоящее время, в связи с ужесточением требований, как по объему работ, так и по времени их выполнения традиционные методы проектирования уже становятся недостаточными, поэтому в последние годы стали широко применяться различные методы автоматизированного проектирования и доводки двигателей и их узлов.

В представленном исследовании использована методика проведения гидравлического (газодинамического) и термодинамического анализа камеры сгорания, также проведение численного моделирования при помощи инженерного пакета ANSYS.

Полученные результаты исследования могут быть использованы для уточнения располагаемой мощности ГТУ при планировании режимов работы на компрессорной станции. Кроме того, полученная информация может быть использована при непосредственном проектировании КС для увеличения надежности ее работы и возможности диагностирования.

1 Обзор литературы

Решению поставленной задачи и изучению работы ГТД, в т.ч. камеры сгорания, посвящено множество литературных источников.

Более подробное описание рабочих процессов, экспериментальных данных по газодинамической структуре воздушного потока, гидравлическому расчету газоздушных каналов, распределению топлива и др. в КС ГТД изложены в [2,4,17].

Описание основных конструктивных особенностей различных КС, характеристик топлива, основ теории горения и процессов сжигания топлива, а также характеристики работы КС, топливной системы ГТД и некоторые основы моделирования процессов горения помогают качественнее подойти к поиску решений поставленной задачи.

С появлением новых технологий моделирование различных процессов и объектов предоставило новую ступень в развитии современной науки. На сегодняшний день изучению данных проблем посвящены многие конференции и семинары, на которых публикуются самые свежие разработки и продвижения ученых и специалистов.

Построение математической модели расчета теплового состояния кольцевых камер сгорания ГТД опубликовано [9] для применения при их дальнейшем проектировании и доводки.

Попытки проведения анализа расчета теплового состояния стенок КС ВРД при использовании математических моделей опробованы в [19].

Применение результатов численного моделирования наглядно формирует представление об исследуемом объекте и протекающих явлениях с точки зрения фундаментальных законов физики, газодинамики и др.

Разработки различных методов расчета для определения теплового состояния и доводки систем охлаждения стенок ЖТ с помощью трехмерного моделирования, а также определение размеров зон обратных токов в КС продемонстрированы в [12,13].

Кроме того, при сжигании топлива происходит образование выбросов оксидов углерода и азота в КС. По данному вопросу разработаны учебные пособия и методики их определения [18,22].

Для более глубокого изучения методов и способов проектирования на примере уже существующих ГТУ дополнительно были рассмотрены пособия и методические указания о конструкции и прочности [7], термодинамические и конструктивные расчеты газотурбинных установок [21], а также основы проектирования КС ГТД [3].

2 Объект и методы исследования

2.1 Камера сгорания

Одной из задач в процессе эксплуатации ГТД является обеспечение надежной работы КС. С ростом параметров термодинамического цикла современных ГТУ: увеличение температуры в КС, повышение давления усложняется решение задач надежности, так как необходимо обеспечить наиболее качественное охлаждение ЖТ.

Исходными данными для исследования являлось техническое задание на унифицированный газоперекачивающий агрегат типа ГПА-16У (далее – агрегат) в блочно-контейнерном исполнении с газотурбинным двигателем мощностью 16 МВт, центробежным компрессором. ГПА предназначен для повышения давления и перемещения природного газа по магистральному газопроводу на линейных компрессорных станциях, как при новом строительстве, так и при их реконструкции.

В качестве привода различных модификаций возможно применять различные ГТД: АЛ-31СТ, ПС-90ГП-2 и др.

Природный горючий газ состоит из смеси различных углеводородов, основная доля которых представлена метановым рядом (более 90%). Множество организаций осуществляет расчеты тепловой схемы энергетических ГТУ для эталона природного газа в состоянии его из чистого метана. Данный метод позволяет облегчить сравнимость расчетов разных тепловых схем и рабочих процессов[14].

Камера сгорания ГТУ представляет собой топочное устройство, в котором при постоянном давлении происходит сжигание топлива с использованием кислорода воздуха в качестве окислителя. Отличительные особенности КС от других сходных конструкций: высокая теплонапряженность, высокие скорости движения потока, большие расходы воздуха через КС, повышенное давление[4].

Устойчивость процесса сгорания в ГТД определяет ее надежность работы, как двигателя. Правильная организация процесса сгорания влияет на тягодутьевые характеристики и экономичность, а также их эксплуатационные особенности.

Для этого к КС предъявляется ряд требований [14]:

- устойчивость процесса сгорания, обеспечение безотказной работы двигателя на всех режимах;
- малые габариты и масса;
- высокая теплонапряженность (возможность передачи теплоты воздуха при малых объемах КС);
- надежный запуск двигателя;
- максимальная полнота сгорания топлива с минимальными потерями тепла и завершением процесса сгорания в самой КС, с целью недопущения попадания пламени в турбину;
- возможно малые гидравлические потери при течении воздуха и продуктов сгорания в камере;
- долговечность работы.

Также агрегат, в условиях режима эксплуатации должен удовлетворять следующим ресурсным показателям, представленным в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Ресурсные показатели агрегата ГПА-16У [15]

Требование	Ресурс, ч
Средний ресурс до капитального ремонта, ч (не менее)	40 000
Средний ресурс до среднего ремонта, ч (не менее)	20 000
Средний полный ресурс агрегата, ч (не менее)	120 000
Срок службы ГПА, лет не менее	20

Камеры сгорания [4] подразделяются на выносные и встроенные, в зависимости от расположения по отношению к корпусу турбины и компрессора.

В свою очередь, КС подразделяются на прямоточные и противоточные. Прямоточные КС, в которых охлаждающий воздух движется в КК между ЖТ и корпусом камеры совместно по направлению с продуктами сгорания. В противоточных КС вторичный воздух направлен навстречу потоку продуктов сгорания. Применение противоточных камер, может упростить компоновку ГТД, что позволит сократить длину КС.

Также бывают выносные или встроенные индивидуальные КС. Выносная КС устанавливается в ГТУ отдельным корпусом рядом с турбокомпрессором. В связи с необходимой организацией потоков воздуха и продуктов сгорания такие КС применяют в стационарных или в передвижных установках, либо в установках с регенерацией теплоты отводящих газов.

Встроенные КС опираются непосредственно на корпус ГТУ или конструктивно с ним совмещены. Встроенные КС – кольцевые, секционные, используемые главным образом в ГТУ авиационного типа, расположены между компрессором и газовой турбиной. Это позволяет значительно снизить габариты и вес ГТУ.

Кроме того, встроенные КС различаются по направлению движения потока воздуха: прямоточные или противоточные. Схема движения потока воздуха, поступающего в КС, в значительной степени не меняет рабочий процесс сжигания топлива, а также величину потерь давления по КС в целом.

В свою очередь, встроенные камеры по конструктивным признакам подразделяются на кольцевые, трубчатые и трубчато-кольцевые.

Кольцевая камера сгорания, состоит из наружного корпуса и жаровой трубы. Корпус камеры и корпус промежуточный образуют со стенками жаровой трубы кольцевые каналы, по которым воздух из камеры высокого давления поступает в жаровую трубу.

Топливный газ подается в камеру сгорания через индивидуальные топливные форсунки из топливного коллектора. Воспламенение топлива

в камере осуществляется системой зажигания. Запальные устройства и топливный коллектор размещены на корпусе камеры сгорания.

Жаровая труба предназначена для сжигания топливовоздушной смеси и формирования поля температур газа на входе в турбину. Жаровая труба состоит из набора профилированных обечаек, соединенных между собой сваркой.

Для охлаждения стенок жаровой трубы на ее оболочках имеются кольцевые щели, в которые через отверстия поступает воздух, образующий заградительную пелену вдоль стенок. На внутреннюю поверхность жаровой трубы нанесено жаростойкое покрытие.

Кольцевая камера сгорания представлена на рисунке 2.1.

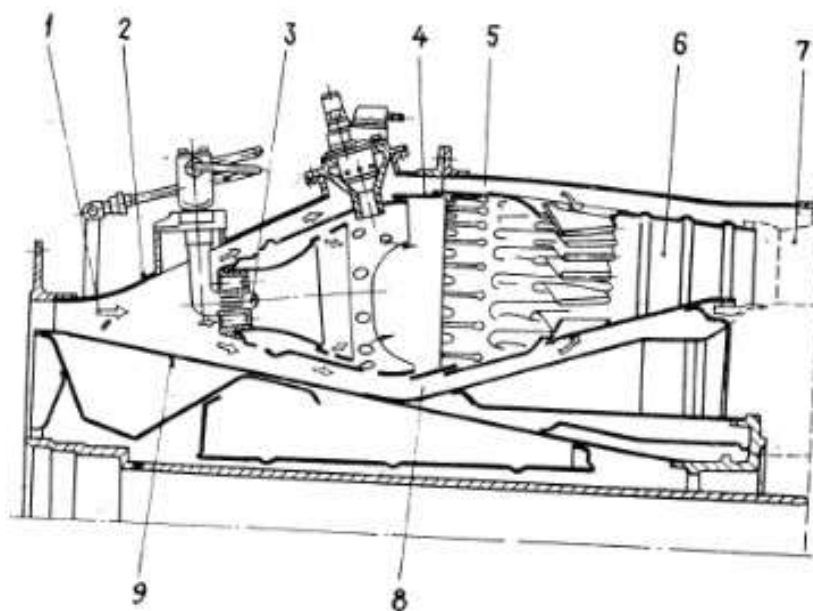


Рисунок 2.1 – Кольцевая камера сгорания

1 – поток воздуха; 2 – наружный корпус; 3 – форсунка; 4 – кольцевая жаровая труба; 5 – наружный кольцевой канал; 6 – газосборник; 7 – сопловой аппарат турбины; 8 – внутренний кольцевой канал; 9 – внутренний корпус

Трубчато-кольцевая камера (рисунок 2.2) состоит из нескольких отдельных жаровых труб, но располагаются они в общем кольцевом канале между корпусами. Соседние жаровые трубы сообщаются одна с другой патрубками для переброса пламени при запуске, заканчиваются общим

газосборником. Такие КС компактнее кольцевых КС и более просты при эксплуатации. Небольшие размеры ЖТ упрощают процессы их изготовления и разработки.

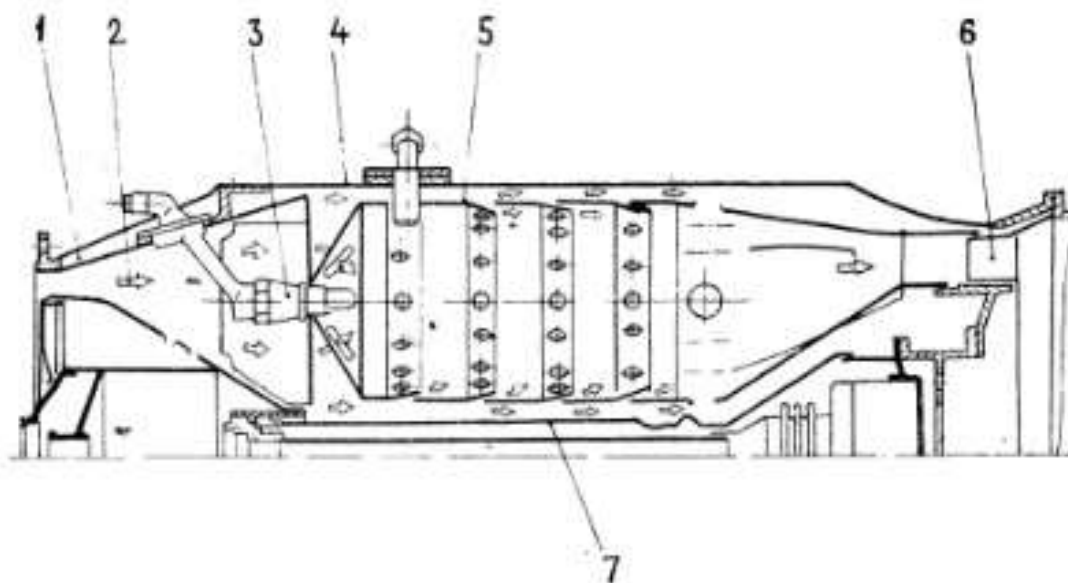


Рисунок 2.2 – Трубчато-кольцевая камера сгорания

1 – диффузор, 2 – поток воздуха, 3 – форсунка, 4 – наружный корпус,
5 – жаровая труба, 6 – газосборник, 7 – внутренний корпус

Также к камерам сгорания предъявляются необходимые требования[4]:

- 1) обеспечение устойчивого горения на заданных режимах работы агрегата (для исключения срывов, пульсаций и затухания пламени);
- 2) равномерная подача температур в газовом потоке (во избежание перегревов и повреждений);
- 3) обеспечение охлаждения поверхностей нагрева;
- 4) экономичность режимов работы агрегата;
- 5) снижение гидравлического сопротивления;
- 6) надежный запуск;
- 7) простота и безопасность в эксплуатации;
- 8) снижение массогабаритных характеристик.

При определении эксплуатационных характеристик одну из ведущих позиций занимает выбор горючего вещества для сжигания топлива, при этом

необходимо учесть как его физические (количество теплоты при сжигании), так и экономические особенности (стоимость, доступность и т.д.).

Для обеспечения устойчивого сгорания топлива необходимо обеспечить численно равную скорость горения и скорость потока газозвдушной смеси. При подаче газозвдушной смеси со скоростью, меньше оптимальной, фронт горения будет смещаться в направлении подачи смеси и произойдет проскок пламени, в обратном же случае фронт горения смещается в сторону смесительных окон, в результате чего произойдет отрыв пламени.

Для обеспечения рационального сжигания при расчете горения рабочего тела определяются следующие необходимые параметры:

- необходимое количество воздуха для горения;
- температура горения;
- количество и состав продуктов сгорания.

Для сжигания в газокмпрессорном агрегате в роли горючего вещества используют собственный природный газ, смешивая его с атмосферным воздухом. При этом необходимо определить теоретически необходимое количество воздуха для обеспечения полного сгорания топлива и количество действительно расходуемого воздуха.

Теоретическая температура сгорания – температура продуктов сгорания при условии, что на нагрев продуктов потребовалась вся теплота, введенная в КС, с учетом потерь от химической и физической неполноты сгорания.

Действительная температура сгорания – температура, получение которой зависит всех потерь теплоты с учетом теплоотдачи.

Основные показатели работы КС:

Тепловая мощность КС $Q_{КС}$ определяется по следующей формуле:

$$Q_{КС} = B \cdot Q_H^P, \quad (1)$$

где B – расход топлива при сжигании, кг/с;

Q_H^P – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Объемная теплonaпряженность q , кВт/м³, характеризует компактность и эффективность объема, используемой КС:

$$q = \frac{Q_{KC}}{V_K} = \frac{B \cdot Q_H^P}{V_K}, \quad (2)$$

где V_K – объем камеры сгорания, м³.

При повышении давления в КС увеличиваются мощность и теплonaпряженность, а также возрастает массовый расход воздуха и топлива. Следовательно, при оценке КС ее объемную теплonaпряженность рассчитывают относительно к давлению в камере, т. е.:

$$q_p = \frac{B \cdot Q_H^P}{V_K \cdot P_B}, \quad (3)$$

где P_B – давление на входе в камеру, МПа.

Суммарные потери энергии в КС учитывают тепловые потери и потери давления.

Тепловой КПД камеры сгорания, учитывающий все тепловые потери:

$$\eta_{KC}^T = \frac{1 - (Q_{H.C.} + Q_{Oxл})}{B \cdot Q_H^P}, \quad (4)$$

где $Q_{H.C.}$ – химический и физический недожоги (потери от неполного сгорания топлива). В современных КС такие потери не превышают 1...5 % от общего расхода теплоты, и 1...3 % при работе на расчетной нагрузке;

$Q_{Oxл}$ – потери теплопередачи нагретой поверхности КС в окружающее пространство (обычно не более 0,5 % расхода теплоты).

В существующих камерах сгорания тепловой КПД при работе на расчетном режиме: $\eta_{KC}^T = 0,97...0,99$.

Полные потери давления в камере сгорания определяются следующим образом:

а) гидравлические потери, возникающие без подвода теплоты в КС с учетом трения и местных сопротивлений от воздухонаправляющих ребер и завихрителей;

б) дополнительные потери – нагрев газа при сгорании топлива (плотность газа снижается, скорость газового потока увеличивается).

Полные потери давления принято выражать в долях или процентах по отношению к давлению полного торможения воздуха на входе в камеру:

$$V_{KC} = \frac{\Delta P^*}{P_B^*} \cdot 100 = \frac{P_B^* - P_\Gamma^*}{P_B^*} \cdot 100, \quad (5)$$

где ΔP^* – сумма полных потерь давления в КС;

P_Γ^* – давление в результате полного торможения газов на выходе из КС.

Полное давление торможения воздуха и газа определяется:

$$P_B^* = P_B + \frac{\rho_B \cdot \omega_B^2}{2 \cdot 10^6}; \quad (6)$$

$$P_\Gamma^* = P_\Gamma + \frac{\rho_\Gamma \cdot \omega_\Gamma^2}{2 \cdot 10^6}, \quad (7)$$

где P_B, P_Γ – статическое давление воздуха на входе и газа на выходе, МПа;

ρ_B, ρ_Γ – плотность воздуха и газа, кг/м³;

ω_B, ω_Γ – средние скорости воздуха во входном сечении и газа в выходном сечении камеры, м/с.

В современных конструкциях КС полные потери давления находятся в пределах $V_{KC} = 1 \dots 3 \%$.

Потери давления в КС влияют на снижение КПД ГТУ. Такие снижения учитываются с помощью аэродинамического КПД камеры сгорания η_{KC}^a , который обычно составляет: $\eta_{KC}^a = 0,98 \dots 0,99$. Общий КПД камеры сгорания можно выразить в виде произведения:

$$\eta_{KC} = \eta_{KC}^T \cdot \eta_{KC}^a, \quad (8)$$

У современных камер сгорания $\eta_{KC} = 0,95 \dots 0,98$.

Принципиальной особенностью рабочего процесса камер сгорания современных ГТУ является относительно высокий общий коэффициент избытка воздуха (α). Это непосредственно связано с уровнем термодинамических параметров цикла газотурбинных установок. Существо взаимосвязи состоит в том, что теоретическая температура горения топлива

значительно выше той, которая допустима в качестве максимальной температуры цикла перед газовой турбиной. Поэтому необходимо большое количество дополнительного воздуха, подводимого в камеру сгорания через смесительные окна, для того, чтобы снизить температуру рабочего тела на выходе из камеры перед поступлением газов на диски и лопатки газовой турбины.

Общий коэффициент избытка воздуха в камере сгорания:

$$\alpha = \frac{G_B}{B \cdot L_0}, \quad (9)$$

где G_B и B – расход воздуха в КС, кг/с;

B – расход топлива в КС, кг/с;

L_0 – количество воздуха необходимое для сжигания 1 кг топлива.

Избыток воздуха в КС находится в диапазоне значений от 4 до 8.

При этом в процессе горения участвует не все количество воздуха, а только часть (первичный воздух):

$$G_{B1} = \alpha_1 \cdot B \cdot L_0, \quad (10)$$

где α_1 – коэффициент избытка первичного воздуха ($\alpha_1 = 1,2 \dots 1,6$).

Для исследования были предоставлены геометрические характеристики и основные параметры работы существующей КС ГПА, которые представлены в приложении А. Схема ГТУ простого открытого цикла без регенерации теплоты представлена на рисунке 2.3.

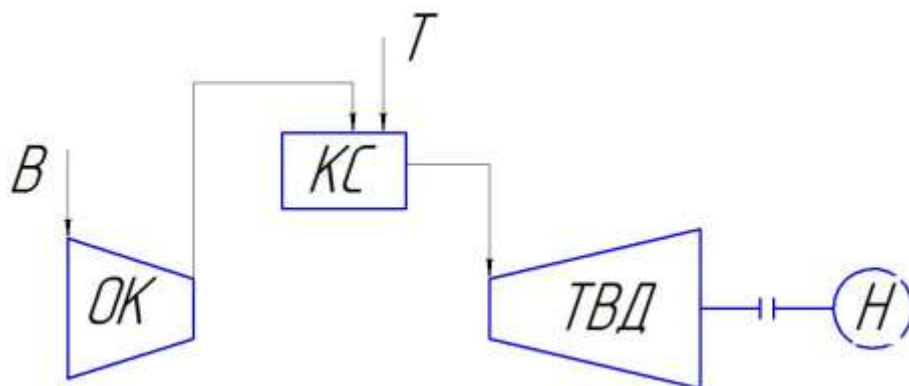


Рисунок 2.3 – Схема ГТУ

B – подвод воздуха; КС – камера сгорания; Н – нагнетатель; ОК – осевой компрессор; Т – подвод топлива; ТВД – турбина высокого давления

2.2 Численное моделирование

Проектирование камеры сгорания с требуемыми показателями и надежно работающей в течение заданного ресурса связано с проведением большого объема экспериментальных работ, как на установках, так и в системе двигателя.

Создание методов расчета процессов, происходящих в камерах, возможно только при комплексном рассмотрении явлений гидродинамики горючего и окислителя, тепломассообмена и химической кинетики.

КС является основным, а также наиболее дорогим элементом ГТД. На сегодняшний день настройка параметров КС является актуальной задачей современной газотурбинной промышленности. При этом применение численного моделирования для решения поставленной задачи дополняет существующие методики проектирования, что позволяет без дорогостоящих испытаний ограничить область поиска оптимальных решений.

Определение эксплуатационных характеристик камеры сгорания возможно путем применения численного моделирования, что значительно снижает экономические затраты и человеческие ресурсы. Решение сложных уравнений позволяет смоделировать движение рабочего тела с учетом химических реакций[1].

На данный момент в мире существует ряд универсальных коммерческих программных продуктов для решения задач вычислительной гидродинамики. Среди ведущих зарубежных коммерческих пакетов можно выделить такие как «ANSYS FLUENT» и «ANSYS CFX» корпорации ANSYS Inc, «STAR-CD/STAR-CCM+» компании CD-adapco Group, позволяющие проводить моделирование широкого класса физических процессов в научных и инженерных областях. Существуют и отечественные универсальные коммерческие пакеты: Flow Vision компании ТЕСИС, Gas Dynamics Tool компании GDT Software Group[1].

Суть численного моделирования [1] заключается в создании и исследовании с помощью компьютера моделей реально существующих объектов и явлений. Основное отличие численного моделирования от экспериментального в том, что все процессы происходят в программе, а не в реальности, что способствует избавлению от трудных и дорогостоящих экспериментов, а также дает возможность безопасно и достаточно быстро изучить свойства и поведение исследуемой модели, что является преимуществом теории. Однако, с помощью компьютерных экспериментов с моделями объектов, используя современные методы вычислений, можно более детально и углубленно изучать объекты исследования, что недостижимо при только теоретическом подходе и является приоритетом эксперимента.

Процесс численного моделирования условно разделяют на несколько этапов. В первом этапе на основании анализа теоретических закономерностей, принадлежащих объекту, происходит постановка задачи, определение объекта и основных целей исследования. Так же задаются признаки, по которым происходит изучение объектов и управление ими. От правильности задания всех данных зависит результативность и правдивость расчета.

Второй этап основывается на формировании математической модели объекта. При построении модели необходимо помнить, что наиболее информативной будет не та самая сложная модель, что больше похожа на объект, а та, которая позволит получить логичный и рациональный результат, так как большая конкретизация или укрупнение лишь помешают построению модели.

В третьем этапе происходит исследование построенной математической модели, которое начинается с выбора метода ее решения.

Итоговым шагом численного моделирования является оценка полученных результатов. Критерием достоверности результатов может служить их соответствие реальным условиям работы модели.

Методом конечных элементов моделируются следующие процессы и явления: горение потока, турбулентность в реагирующей среде, конвективный и лучистый теплообмен.

Моделирование газовой фазы проводится в приближении Эйлера. В этом случае математическая модель включает в себя следующие уравнения:

– неразрывности для одной координаты

$$\frac{\partial(\rho U_i)}{\partial x_i} = 0; \quad (11)$$

– движения для одной координаты

$$\frac{\partial \rho U_i U_j}{\partial x_i} = -\frac{\partial \rho}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_\tau) \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta \left[\rho k + (\mu + \mu_\tau) \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \right] \right], \quad (12)$$

– энергии для одной координаты

$$\frac{\partial \rho U_i c T}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\left[\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_\tau}{Pr_t} \right] c \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + Q_p^n J - \frac{\partial q_i^{rad}}{\partial x_i}; \quad (13)$$

– состояния для одной координаты

$$\rho = \frac{p}{R_0 T \left[\frac{C_{O_2}}{M_{O_2}} + \frac{C_{N_2}}{M_{N_2}} + \frac{C_{C_{19}H_{30}}}{M_{C_{19}H_{30}}} + \frac{C_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{C_{H_2O}}{M_{H_2O}} \right]}. \quad (14)$$

где U_i – компоненты вектора скорости;

C_j – концентрация компонентов;

M_j – молекулярный вес компонентов смеси;

J – стехиометрический коэффициент и скорость горения газообразного топлива [4].

Использовалась k-ε модель турбулентности, позволяет решить задачи с кривизной линий тока. Данная модель справедлива для полностью развитого турбулентного течения (при высоких числах Рейнольдса влияние вязкости на структуру турбулентности пренебрежимо мало).

Для описания характеристик газа используется двухпараметрическая «k-ε» модель турбулентности Лаундера и Сполдинга

$$\frac{\partial \rho k U_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{1,0} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + C - \rho \varepsilon, \quad (15)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon U_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{1,3} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + 1,44 G \frac{\varepsilon}{k} - 1,92 \rho \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (16)$$

$$\mu_t = 0,09 \rho \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (17)$$

$$G = \left[\mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \rho k \right] \frac{\partial U_i}{\partial x_j}. \quad (18)$$

где k , ε – кинетическая энергия турбулентности и скорость ее диссипации;

δ_{ij} – символ Кронекера;

μ_t – турбулентная вязкость;

q_i^{rad} – компоненты вектора радиационного теплового потока.

Влияние переноса тепла излучением в КС при составлении баланса играет важную роль. Численное исследование радиационного теплопереноса в излучающих, поглощающих и рассеивающих средах, таких как топочные камеры, используется сложное интегро–дифференциальное уравнение интенсивности температурного излучения. Приближенное решение данного уравнения применяется метод сферических гармоник. Использование данного варианта для моделирования термического излучения в КС обусловлено его хорошей совместимостью с конечноразностными методами. Математическая формулировка процесса радиационного теплопереноса в рамках P1 приближения метода сферических гармоник для серой излучающей, поглощающей и рассеивающей среды включает в себя следующие дифференциальные уравнения:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{3k_B} \frac{\partial H}{\partial x_i} \right) = -a(4\sigma T^4 - H); \quad (19)$$

$$\frac{\partial q_i^{rad}}{\partial x_i} = a(4\sigma T^4 - H), \quad (20)$$

где H – пространственная плотность падающего излучения, Вт/м²;

$k_e = a$ – коэффициент ослабления среды, 1/м;

a – коэффициент поглощения, 1/м;

σ – постоянная Стефана–Больцмана.

Для численного моделирования протекания химической реакции в турбулентном потоке используют модель Сполдинга

(Eddy-Break-Up – EBU). Данная модель показывает скорость химической реакции пропорционально интенсивности турбулентного перемешивания. При этом не учитывается влияние температуры среды на скорость протекающих химических реакций EBU-модель. Данный факт не позволяет моделировать течения с переходными режимами горения, определяющими условия существования пламени.

Используемая модель, с учетом совместного использования модели Сполдинга и кинетической модели, позволяет учесть различные режимы течения.

Кинетическая скорость реакции определяется следующей формулой:

$$\bar{w} = A_K \cdot \bar{p}^2 \cdot c_f \cdot c_{ox} \exp(-E / R_{un} T), \quad (21)$$

где A_K – коэффициент постоянной, $\text{м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с})$;

E – энергия активации, Дж/моль;

R_{un} – универсальная газовая постоянная.

Скорость сжигания в турбулентном потоке, согласно EBU модели, вычисляется по формуле:

$$\bar{w}_t = A_{EBU} \cdot \bar{p}(\varepsilon / k) \min[c_f, c_{ox} / \nu], \quad (22)$$

где ε – скорость диссипации;

k – удельная энергия турбулентности;

A_{EBU} – коэффициент модели.

Использование модели EBU с методом крупных вихрей определяет отношение скорости диссипации к удельной энергии турбулентности, как:

$$\varepsilon / k = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}, \quad (23)$$

Тогда скорости турбулентного потока сжигания, принимает вид:

$$\bar{w}_t = A_{EBU} \bar{p} |S| \min\{c_f, c_{ox} / \nu\}. \quad (24)$$

Скорость реакции в зависимости от температуры потока определяется следующим образом:

$$\bar{w}_t = A_{EBU} B_{EBU} \bar{p} |S| \min\{c_f, c_{ox} / \nu\}, \quad (25)$$

$$B_{EBU} = 6,386 \cdot 10^3 \exp[-E/(R_{un}\tilde{T})]. \quad (26)$$

Коэффициент B_{EBU} изменяется в диапазоне от 0 до 1. Следовательно, при температуре, близкой к наибольшей, значения, полученные и становятся фактически одинаковыми. Коэффициент $6,386 \cdot 10^3$ в выражении для B_{EBU} найден из соотношения $B_{EBU}^{max} / \exp[-E/(R_{un}\tilde{T})] = 6,386 \cdot 10^3$. При снижении температуры коэффициент B_{EBU} также начинает уменьшаться, обуславливая тем самым зависимость скорости реакции от температуры.

При этом скорость реакции после вычисления кинетической и турбулентной скоростей горения окончательно определяется аналогично формуле Щёлкина:

$$\overline{w} = \sqrt{\overline{w}_{kin}^2 + \overline{w}_t^2}. \quad (27)$$

Такая формула позволяет определить возможность моделирования перехода, как от турбулентного к ламинарному, так и наоборот, от ламинарного режима к турбулентному, соответственно, при увеличении интенсивности режиму горения или уменьшении интенсивности турбулентного перемешивания.

Целью моделирования является проведение экспериментальной части с помощью компьютерного анализа и сопоставление результатов с реальными явлениями изучаемого объекта.

Численное моделирование можно разбить на несколько этапов:

- 1) постановка задачи;
- 2) разработка модели, основных элементов объекта и т.д.;
- 3) разработка математической модели, т.е. создание алгоритма вычисления;
- 4) проведение экспериментов с помощью определенного алгоритма вычисления;
- 5) анализ, сравнение результатов, выводы.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4Б	Пашковский Роман Витальевич

Институт	Энергетический	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.03 Энергетическое машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Проведение предпроектного анализа (Анализ конкурентных технических решений, проведение SWOT-анализа, оценку степени готовности объекта) 2. Планирование управления научно-техническими ресурсами (составление календарного плана графика проекта) 3. Бюджет исследования (расчет бюджета затрат исследовательского проекта)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Сметные расчеты затрат на проведение исследований
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Не рассчитывается для данного проекта

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Инновационный и коммерческий потенциал проекта заключается в том, что применение данного оборудования приведет к оптимизации затрат на материально-экономические, информационные и человеческие ресурсы
2. Разработка устава научно-технического проекта	В рамках разработки магистерской диссертации устав не требуется
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составления календарного плана реализации проекта
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение финансовой и экономической эффективности (денежные и человеческие ресурсы)

Перечень графического материала:

Определение оценки конкурентоспособности. Матрица SWOT-анализа. Календарный план-график проекта. Матрица ответственности. Сравнительная оценка эффективности.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4Б	Пашковский Роман Витальевич		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время на энергетическом рынке Российской Федерации происходит активная газификация регионов, которая составляет около 65 %. В составе компрессорной станции газотранспортной системы транспортировки газа, в зависимости от местности, температур окружающей среды и т.д., широко используются газоперекачивающие агрегаты.

Определение непосредственного применения полученных результатов исследования с экономической точки зрения, а также выявление сильных и слабых стороны проекта является основной задачей для повышения его конкурентоспособности, что важно при непосредственном вовлечении в производство, а также возможности привлечения непосредственного источника финансирования для получения перспективны проведения дальнейших исследований.

5.1 Проведение предпроектного анализа

Производство камер сгорания в составе ГПА является неотъемлемой его частью в виде блока-контейнера, и отдельно не производится. Применение информационных ресурсов о камерах сгорания полученных в данной работе целесообразно применять при производстве данных агрегатов.

На сегодняшний день производством агрегатов занимаются следующие наиболее известные фирмы: ОАО «КМПО», АО «РЭП Холдинг», ЗАО «Уральский турбинный завод» и ЗАО «Пермский моторный завод».

Краткое описание фирм-производителей газоперекачивающих агрегатов:

– ОАО «Казанское моторостроительное производственное объединение» основано в 1931 году, является одним из крупнейших

машиностроительных предприятий России. Основная деятельность сконцентрирована на серийном производстве газотурбинных двигателей и оборудования для транспортировки и распределении природного газа.

– АО «РЭП Холдинг» – одно из ключевых энергомашиностроительных предприятий России, специализирующееся на разработке и производстве инновационной энергетической продукции, которая применяется при строительстве энергоблоков и электростанций, в нефтяной промышленности и других отраслях.

– ЗАО «Уральский турбинный завод» основан 2 октября 1938 года. В настоящее время осуществляет производство турбинных агрегатов различных типов, видов и мощностей.

– ЗАО «Пермский моторный завод» является единственным в России предприятием, производящим авиадвигатели четвертого поколения, которые являются одними из лучших в мире, а также выполняет госзаказы по производству газотурбинных установок для компрессорных станций.

Проведение сравнительного анализа с целью выбора потенциальной фирмы для дальнейшего вовлечения в производство будет производиться в данной области, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная по следующим критериям:

- 1) возможность реализации проекта;
- 2) конкурентно способность на рынке РФ;
- 3) качество производства;
- 4) объемы производства;
- 5) цена.

Пример расчета конкурентоспособности:

$$K = B_i \cdot B_i, \quad (45)$$

где K – конкурентно способность фирмы-производителя;

B_i – вес критерия;

B_i – оценочные показатели фирмы-производителя.

Данный сравнительный анализ представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Определение оценки конкурентоспособности

Критерий оценки	Вес критерия, (В _i)	Баллы, (Б _i)				Конкурентоспособность, (К)			
		АО РЭП Холдинг	ОАО КМПО	ЗАО УТЗ	ЗАО ПМЗ	АО РЭП Холдинг	ОАО КМПО	ЗАО УТЗ	ЗАО ПМЗ
Возможность реализации проекта	0,50	5,00	4,00	2,00	1,00	2,50	2,00	1,00	0,50
Конкурентноспособность на рынке РФ	0,12	4,00	5,00	3,00	2,00	0,48	0,60	0,36	0,24
Качество производства	0,15	4,00	5,00	5,00	4,00	0,60	0,75	0,75	0,6
Объемы производства	0,08	5,00	5,00	4,00	4,00	0,40	0,40	0,32	0,32
Цена	0,15	3,00	3,00	4,00	3,00	0,45	0,45	0,60	0,45
Итого	1,00	21,00	22,00	18,00	14,00	4,43	4,20	3,03	2,11

Проанализировав полученные результаты проведенного анализа определения конкурентоспособности фирм-производителей, указанных в таблице 5.1 самую высокую конкурентоспособность получила АО «РЭП Холдинг». Определенными плюсами данной фирмы по сравнению с другими предприятиями являются высокие объемы производства ГПА, а также возможность реализации исследуемого объекта. По сравнению с ОАО «КМПО», имеет недостатки конкурентоспособности на рынке РФ, и в качестве производимой продукции (большое количество ремонтной техники).

Кроме того проведение анализа конкурентных технических решений позволит внести коррективы в проект с целью его эффективности, а также позволит провести сравнительную оценку эффективности проекта и определить его дальнейшую целесообразность.

Для проведения такого анализа необходимо учесть всю имеющуюся информацию о конкурентных разработках, применяемых на сегодняшний день:

- технологические характеристики разработки;

- конкурентоспособность;
- уровень завершенности исследования;
- уровень проникновения на рынок.

В свою очередь три газоперекачивающих агрегата: ГПА-16У – агрегат с исследуемой камерой сгорания и ГПА-16 Ладога. Критерии для сравнения и оценки технической и экономической эффективности, приведенные в таблице 5.2, подбираются, исходя из определенных объектов с учетом их технических и экономических характеристик.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 5.2 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б ₁	Б ₂	К ₁	К ₂
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности	0,07	5,00	3,00	0,35	0,21
Энергоэкономичность	0,08	3,00	3,00	0,24	0,24
Надежность	0,14	4,00	3,00	0,56	0,42
Уровень шума	0,10	2,00	3,00	0,20	0,30
Безопасность	0,14	4,00	5,00	0,56	0,70
Простота эксплуатации	0,09	4,00	5,00	0,36	0,45
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,07	5,00	4,00	0,35	0,28
Экономические критерии оценки эффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,10	5,00	4,00	0,50	0,40
Цена	0,08	3,00	2,00	0,24	0,16
Предполагаемый срок эксплуатации	0,13	5,00	4,00	0,65	0,52
Итого	1,00	40,00	36,00	4,01	3,68

где Б₁ – балл ГПА-16У;

Б₂ – балл ГПА-16 Ладога;

К₁ – конкурентоспособность ГПА-16У;

К₂ – конкурентоспособность ГПА-16 Ладога.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K_{конN} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (46)$$

где $K_{конN}$ – конкурентоспособность проекта;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Сниженная конкурентоспособность агрегат с исследуемой камерой сгорания связана с необходимостью доработки программного обеспечения управления данной разработкой, что затрудняет ее эксплуатацию. С другой стороны заметное преимущество агрегат имеет в повышении производительности, конкурентно способности продукта на рынке, при большей выработки и качеством в увеличенном объеме поставок продукта при равной цене.

По результатам проведенного анализа по выбору конкурентоспособной фирмы, а также сравнения с уже имеющимися аналогами для дальнейшего вовлечения проектной информации и заинтересованности партнеров и инвесторов необходимо провести комплексный анализ научно-исследовательского проекта на предмет исследования его внешней и внутренней среды.

Для начала необходимо определить его слабые и сильные стороны, а также возможности перспективы применения, а другой стороны и его угрозы. Для наглядности и возможности дальнейшего проведения анализа матрица SWOT-анализа представлена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Матрица SWOT-анализа проекта

Возможности/угрозы	Сильные стороны	Слабые стороны
1	2	3
	Сильные стороны проекта: С1. Наличие компьютерной модели; С2. Полученные теоретические (максимально приближенные) эксплуатационных характеристик;	Слабые стороны проекта: Сл1. Отсутствие практического объекта; Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения практических испытаний;

Продолжение таблицы 5.3

Возможности/угрозы	Сильные стороны	Слабые стороны
	С3. Снижение экономических и человеческих ресурсов С4. Наличие программного обеспечения и литературной базы; С5. Более подробное и качественное изучение сегмента ГПА; С6. Экологичность технологий; С7. Энергоэффективность и современность технологий.	Сл3. финансирования; Сл4. Отсутствие информация от производителей о конкретных существующих проблемах при производстве и эксплуатации; Сл5. Отсутствие квалифицированных кадров и опыта при реализации проекта; Сл6. Узкий профиль применения исследования.
Возможности: В1. Использование инфраструктуры НИ ТПУ; В2. Появление и применение новых (модифицированных) агрегатов; В3. Наличие потребителей; В4. Дальнейшее проведение совместных исследований с потребителями; В5. Возможность применения на зарубежных рынках.		
Угрозы: У1. Наличие более современных технологий конкурентов; У2. Отсутствие целесообразности применения с учетом уже настроенного производства. У3. Возможное появление новых технологий производства; У4. Несвоевременное производство; У5. Возможное дополнительное сертифицирование исследования.		

Для определения целесообразности и степени проведения стратегических изменений необходимо понимание соответствие сильных и слабых сторон проекта внешним условия окружающей среды. Для этого на основе составленной SWOT-матрицы составляется интерактивная матрица

проекта (таблица 5.4), которая поможет понять взаимосвязь областей матрицы SWOT между собой. Все факторы помечаются либо знаком «+» – сильное соответствие, либо знаком «-» – слабое соответствие; «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица исследования

		Сильные стороны							Слабые стороны					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	Сл6
Возможности	B1	+	+	+	+	-	-	0	0	+	+	-	0	-
	B2	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-
	B3	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	0	+	+
	B4	+	-	0	0	+	+	0	+	+	-	+	+	-
	B5	-	+	-	-	+	+	+	-	0	+	-	+	+
Угрозы	У1	+	+	0	-	0	+	+	-	+	+	0	-	+
	У2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
	У3	-	+	0	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+
	У4	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+
	У5	+	+	-	-	-	0	+	-	-	+	-	+	+

Проводя анализ полученной интерактивной матрицы можно сказать о том, что записи коррелируются в следующем виде:

– по направлению реализации проекта:

1. Возможности и сильные стороны: B1C1C2C3C4; B2C1C2C3C6C7; B3C2C3C4C5C6C7; B4C1C5C6; B5C2C5C6C7.

2. Возможности и слабые стороны: B1Сл2Сл3; B2Сл1Сл2Сл3Сл5; B3Сл3Сл5Сл6; B4Сл1Сл2Сл4Сл5; B5Сл3Сл5Сл6.

3. Угрозы и стильные стороны: У1C1C2C6C7; У3C2C5C6C7; У5C1C2C7.

4. Угрозы и слабые стороны: У1Сл2Сл3Сл6; У2Сл4Сл5Сл6; У3Сл4Сл5Сл6; У4Сл1Сл3Сл6; У5Сл3Сл5Сл6.

– по единой природе:

1. Возможности и сильные стороны: B1B2C1C2; B1B2C2C3; B3B4B5C5C6; B2B3C6C7.
2. Возможности и слабые стороны: B1B2Cл2Cл3.
3. Угрозы и стильные стороны: отсутствуют.
4. Угрозы и слабые стороны: У2У3Cл4Cл5Cл6.

Результаты анализа в рамках проекта изложены в итоговой матрице SWOT-анализа (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Итоговая матрица SWOT-анализа

Возможности/угрозы	Сильные стороны	Слабые стороны
1	2	3
Возможности: B1. Использование инфраструктуры НИ ТПУ; B2. Появление и применение новых (модифицированных) агрегатов; B3. Наличие потребителей; B4. Дальнейшее проведение совместных исследований с потребителями; B5. Возможность применения на зарубежных рынках.	Одной из направленности проекта сильной стороны является использование инфраструктуры НИ ТПУ, как источник получения необходимой информации исследования, а также предоставляет необходимо программное обеспечение, что значительно снижает затраты различного рода и помогает решить поставленные задачи. Кроме того, для потребителей и (или) совместно с ними появляется возможность в более подробном изучении камеры сгорания ГПА и ее усовершенствовании, для выхода на российский и международный рынки к потребителям.	Отсутствие практических испытаний и реального объекта исследования появляется в связи с отсутствием финансирования. После появления источников финансирования или непосредственного потребителя появится возможность в продолжении исследований и получении более точный результатов.
Угрозы: У1. Наличие более современных технологий конкурентов; У2. Отсутствие целесообразности применения с учетом уже настроенного производства.	Одним из немаловажный результатом анализа является отсутствие связи угрозы с сильными сторонами проекта. При этом необходимо для дальнейшего развития проекта уделить особое внимание на поиск и применение более современных технологи, или другого программного обеспечения. Также	Учитывая узкий профиль применения результатов исследования проекта, появляются угрозы его незавершенности и дальнейшего привлечении опытного и квалифицированного персонала. Что может повлечь за собой отсутствие применения и дальнейшей

Продолжение таблицы 5.5

Возможности/угрозы	Сильные стороны	Слабые стороны
У3. Возможное появление новых технологий производства; У4. Несвоевременное производство; У5. Возможное дополнительное сертифицирование исследования.	необходимо в течении всей реализации проекта постоянно производит мониторинг рынка на предмет появления новых технологий производства, или исследований. Кроме того, прежде чем реализовывать (применять) результаты необходимо провести анализ на предмет необходимости сертифицирования практической модели объекта.	целесообразности исследования проекта.

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества аналитического метода определения характеристик значительно преобладают над недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

Для определения готовности проекта к коммерциализации на данном этапе жизненного цикла, а также определения уровня собственных знаний и показателей проработки проекта с точки зрения коммерциализации и компетенции исследования необходимо заполнить карту оценок степени готовности исследования.

При этом система измерения по каждому направлению происходит по оценке степени проработанности проекта: 1 – не проработанность исследования; 2 – слабая проработанность; 3 – выполнено, но не уверенно, 4 – выполнено качественно; 5 – положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 – не знаком; 2 – в объеме теоретических знаний; 3 – знаю теорию и практические примеры применения; 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю; 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Готовность проекта на данном этапе жизненного цикла определена картой оценок степени готовности исследования, представленной в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Карта оценок степени готовности исследования

Наименование	Степень проработанности исследования	Уровень знаний у разработчика
1	2	3
Определен имеющийся научно-технический задел	3	5
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	4
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	4
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	4
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	5
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	3
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	4
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	2
Проработан механизм реализации научного проекта	2	3
ИТОГО БАЛЛОВ	48	58

Значение $B_{\text{сум}}$ предоставляет сведения о мере готовности исследования к коммерциализации, в том числе перспективность степени проработанности научного проекта и имеющихся знаний стоят на уровне выше среднего.

При этом для дальнейшей коммерциализации результатов исследования целесообразно выбрать метод инжиниринга. В данном случае

при отсутствии собственной материально-технической, интеллектуально и финансовой баз будет возможность использования результатов исследований в виде услуг консультанта, во избежание отсутствия применений и остановки дальнейших исследований проекта.

Такой метод позволит связать разработчика с коммерческой организацией для дальнейших совместных работ связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

5.2 Планирование управления научно-техническим проектом

Иерархическая структура работ (ИСР) – это детализированная структура работы. В процессе создания такой структуры определяется содержание всего проекта.

В свою очередь такая ИСР исследования представлена на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Иерархическая структура работ

Для выполнения работ по такой структуре были также определены ключевые события проекта, даты контроля события, а также подтверждающие документы по результатам проведенной работы.

Ключевые события определенные для исследования представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Ключевые события проекта

Ключевое событие	Дата контроля	Результат (подтверждающий документ)
1	2	3
Разработка ТЗ	02.02.2016	Приказ
Составление и утверждение ТЗ	05.02.2016	Задание на выполнение ВКР
Подбор и изучение материалов по теме	09.02.2016	
Анализ изученной информации	18.02.2016	Отчёт
Календарное планирование работ	20.02.2016	План работ
Рассмотрение эксплуатационных характеристик камеры сгорания ГПА-16У	25.02.2016	Отчёт
Подготовка данных и расчет характеристик камеры сгорания	30.03.2016	Отчёт
Моделирование процессов горения в камере сгорания	15.04.2016	Отчёт
Выполнение расчётов и анализ полученных данных оценка результатов	30.04.2016	Отчёт
Проработка специальных глав проекта	10.05.2016	Отчёт
Составление пояснительной записки	20.05.2016	Проект пояснительной записки
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	25.05.2016	Пояснительная записка
Подготовка к защите	10.06.2016	Презентация к защите

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план исследования, представленный в таблице 5.8. В данном

случае исследования по теме представляются отрезками времени, определенными датами начала и окончания выполнения задачи

Таблица 5.8 – Календарный план исследования

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка ТЗ	2	01.02.2016	02.02.2016	Руководитель
2	Составление и утверждение ТЗ	4	02.02.2016	05.02.2016	Руководитель
3	Подбор и изучение материалов по теме	5	05.02.2016	09.02.2016	Руководитель, студент
4	Анализ изученной информации	10	09.02.2016	18.02.2016	Студент
5	Календарное планирование работ	3	18.02.2016	20.02.2016	Руководитель, студент
6	Рассмотрение эксплуатационных характеристик камеры сгорания ГПА-16У	6	20.02.2016	25.02.2016	Студент
7	Подготовка данных и расчет характеристик камеры сгорания	35	25.02.2016	30.03.2016	Студент
8	Моделирование процессов горения в камере сгорания	16	30.03.2016	15.04.2016	Студент
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных оценка результатов	47	15.04.2016	30.04.2016	Руководитель, студент
10	Проработка специальных глав проекта	52	30.04.2016	10.03.2016	Студент
11	Составление пояснительной записки	11	10.05.2016	20.05.2016	Студент
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа ПЗ	6	20.05.2016	25.05.2016	Руководитель, студент
13	Подготовка к защите	17	25.05.2016	10.06.2016	Студент

В таблице 5.9 представлен календарный план-график исследования.

Таблица 5.9 – Календарный план-график исследования

Вид работ	Исполнители	Т _к кал. дн	Продолжительность выполнения работ													
			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Разработка ТЗ	Руководитель	2														
Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	4														
Подбор и изучение материалов	Руководитель, студент	5														
Анализ изученной информации	Студент	10														
Календарное планирование работ	Руководитель, студент	3														
Рассмотрение эксплуатационных характеристик камеры сгорания ГПА-16У	Студент	6														
Подготовка данных и расчет характеристик КС	Студент	35														
Моделирование процессов горения в КС	Студент	16														
Выполнение расчётов и анализ полученных данных оценка результатов	Руководитель, студент	47														
Проработка специальных глав проекта	Студент	52														
Составление пояснительной записки	Студент	11														
Проверка правильности выполнения ГОСТа ПЗ	Руководитель, студент	6														
Подготовка к защите	Студент	17														

 – Руководитель

 – Студент

5.3 Бюджет исследования

Планирование бюджета исследования обеспечивает качественное и достоверное отражение расходов при его выполнении.

Расчет материальных затрат, представленный в таблице 5.10, производится, как:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \quad (47)$$

где m – количество видов ресурсов, необходимых при выполнении исследования;

$N_{расхi}$ – количество ресурсов i -го вида, необходимых при выполнении исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

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

k_T – транспортно-заготовительный коэффициент расходов, принимаются в пределах 15–25 % от стоимости материалов.

Таблица 5.10 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электроэнергия, кВт·ч	–	250	2,12	530
Бумага, шт	Paper Line	480	0,45	360
Печать на листе А4, шт	–	250	2,5	625
Ручка, шт	Pilot	2	43,5	87
Доступ в интернет, мес	–	4	550	2200
Всего за материалы				3802
Транспортно-заготовительные расходы				-
Итого по статье C_M				3802

Расчёт затрат на оборудование производится с учетом всех затрат, связанных с приобретением оборудования, необходимого для проведения исследования. В данной исследовательской работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относится компьютер, стоимость которого составляет 48 000 рублей, назначенный срок службы пять лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T, \quad (48)$$

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования (руб);

T – срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = (48\,000 / 1825) = 26,30 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 93 дней, таким образом, затраты на оборудование составляют:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 26,30 \cdot 93 = 2445,90 \text{ руб.}$$

Основная ЗП исполнителей рассчитывается исходя из основной заработной платы работников, в том числе включая премии, доплаты и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{ЗП}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (49)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная ЗП;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная ЗП.

Основная ЗП ($Z_{\text{осн}}$) руководителя рассчитывается, как:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (50)$$

где $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная ЗП работника, руб.

Среднедневная ЗП рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}}, \quad (51)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, пяти дневная неделя;

– при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, шести дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб. дн.

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 5070 руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$Z_{\text{дн}} = (5070 \cdot 11,2) / 224 = 253,5 \text{ руб/день.}$$

Основной заработок студента за время преддипломной практики составляет:

$$Z_{\text{осн студ}} = 253,5 \cdot 93 = 23575,5 \text{ руб.}$$

В таблице 5.11 представлен действительный годовой фонд рабочего времени.

Таблица 5.11 – Годовой фонд рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	252	224

Основная ЗП научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в НИ ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием. В НИ ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

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

- иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник – преподаватель, его оклад составляет 20 776,45 рублей. Надбавки к заработной плате за научную степень составляют 12 800 рублей (надбавки учёного совета), также районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Основная ЗП научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = (20776,45 + 12800) \cdot 1,3 = 43649,39 \text{ руб / месяц.}$$

Среднедневная ЗП научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (43649,39 \cdot 10,4) / 251 = 1808,58 \text{ руб / день.}$$

Руководитель участвовал в работе 22 дня, а это:

$$Z_{\text{осн рук}} = 1808,58 \cdot 22 = 39788,76 \text{ руб.}$$

Дополнительная ЗП исполнителей предполагает дополнительную величину, предусмотренных ТК РФ, доплат за отклонение от нормальных условий труда и выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная ЗП принимается исходя из 10–15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (52)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная ЗП, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{\text{осн}}$ – основная ЗП, руб.

Примем коэффициент дополнительной ЗП для научного руководителя равным 0,12. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	Руководитель, руб.	Студент, руб.
Основная зарплата	39778,76	23575,5
Дополнительная зарплата	4774,65	-
Зарплата исполнителя	44553,41	23575,5
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	68128,91	

Во внебюджетные фонды размер отчислений составляет 27,1 % от суммы затрат на оплату труда исполнителей, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды рассчитывается, как:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (53)$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 44553,41 = 12073,97 \text{ руб.}$$

Также к накладным расходам могут быть включены затраты на управление и хозяйственное обслуживание. Они рассчитываются исходя из расходов по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (54)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в НИ ТПУ составляют 0,25 – 0,35 от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем $k_{\text{накл}} = 0,3$.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot 44553,41 = 13366,02 \text{ руб.}$$

Рассчитанная величина затрат исследования является основой для формирования бюджета затрат.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
Материальные затраты	3802,00
Затраты на оборудование	2445,90
Затраты по основной ЗП исполнителей	63354,26
Затраты по дополнительной ЗП исполнителей	4774,65
Отчисления во внебюджетные фонды	12073,97
Накладные расходы	13366,02
Бюджет затрат исследования	99816,80

5.4 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей

и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации, представленная на рисунке 5.2. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

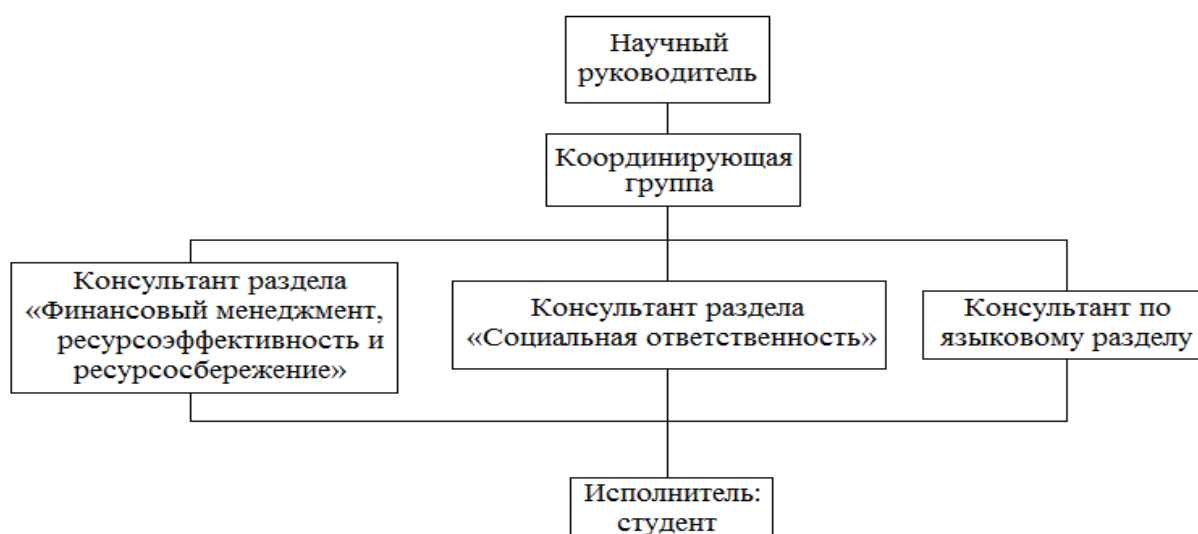


Рисунок 5.2 – Организационная структура научного проекта

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности проекта.

Степень участия в исследовании характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);

– согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

Степень ответственности каждого члена команды представлена в таблице 5.14

Таблица 5.14 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Социальная ответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Разработка технического задания	О				
Составление и утверждение технического задания	О				
Подбор и изучение материалов по теме	О				И
Анализ изученной информации	С				И
Календарное планирование работ	О				И
Рассмотрение эксплуатационных характеристик камеры сгорания ГПА-16У	О				И
Подготовка данных и расчет характеристик камеры сгорания	О				И
Моделирование процессов	О				И
Выполнение расчётов и анализ полученных данных оценка результатов	О				И
Проработка специальных глав проекта	С	С			И
Составление пояснительной записки	О		С		И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	О			С	И
Подготовка к защите	С				И
Разработка технического задания	С				И
Составление и утверждение технического задания	С				И
Подбор и изучение материалов по теме	О				И

5.5 Сравнительный анализ эффективности

Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности происходит

на основе расчета показателя эффективности научного исследования, определяя две средневзвешенные величины: финансовая эффективность и ресурсоэффективность.

Показатель эффективности получают при оценке бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения исследований. Для этого наибольший показатель реализации принимается за базу расчета (как знаменатель), далее с ним соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (55)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – финансовый показатель исследования;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения (в т.ч. аналоги).

Данная величина отражает соответствующее увеличение бюджета затрат разработки (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости исследования (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = 1$.

Для аналогов (с использованием ПО, которое стоит 10 000 руб. и 15 000 руб.) соответственно:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{109816,8}{99816,8} = 1,10;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{114816,8}{99816,8} = 1,15.$$

Показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения исследования определяется, как:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (56)$$

где I_{pi} – показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исследования;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения исследования;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения исследования, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Такой показатель эффективности представленной в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Рост производительности	0,4	5,00	4,00	3,00
Удобство в эксплуатации	0,15	5,00	4,00	2,00
Помехоустойчивость	0,13	5,00	4,00	4,00
Надёжность	0,14	5,00	3,00	3,00
Материалоёмкость	0,18	4,00	3,00	4,00
ИТОГО	1,00	4,82	3,68	3,16

Показатель эффективности вариантов исполнения исследования и аналога определяется на основании показателя ресурсоэффективности и финансового показателя по формулам:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}; \quad (57)$$

$$I_{финр}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_\phi^{ai}}. \quad (58)$$

В результате:

$$I_{финр}^p = \frac{4,87}{1} = 4,87; I_{финр}^{a1} = \frac{3,72}{1,10} = 3,38; I_{финр}^{a2} = \frac{3,15}{1,15} = 2,74.$$

Сравнение показателя эффективности текущего исследования и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность исследования:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}}, \quad (59)$$

где $\mathcal{E}_{cp}$ – сравнительная эффективность исследования;

$I_{тэ}^p$ – интегральный показатель исследования;

$I_{тэ}^a$ – интегральный технико-экономический показатель исследования.

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
Интегральный финансовый показатель разработки	1,10	1,15	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,72	3,15	4,87
Интегральный показатель эффективности	3,38	2,74	4,87
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,44	1,78	4,87

Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования определенной необходимым сравнительным анализом говорит о превосходстве аналитического метода расчета над аналогами.

5.6 Выводы по главе

В результате переделанной работы в рамках исследования с помощью предпроектного анализа была определена конкурентно способная фирма АО «РЭП Холдинг» по следующим критериям: возможность реализации проекта, конкурентно способность на рынке РФ, качество и объем производства, цена. Также проведенный анализ конкурентоспособности самого исследования показал превышение проекта над аналогами. Проведение SWOT-анализа помогло определить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы проекта, на основании которых были сделаны выводы о возможных перспективах проекта и возможных его проблемах. После чего проведена оценка степени готовности проекта, находящаяся на отметке выше средней.

С помощью планирования научным проектом были определены контрольные события, календарный план и ответственность проекта.

Проведен расчет затрат с учетом всех отчислений и доплат на исследование, который составил 99816,80 руб.

Список публикаций

1. Пашковский Р.В., Бреус С. С. Парогенераторная установка с обратным циклоном теплоносителя для автономного энергообеспечения магистральных газопроводов // Современная техника и технологии: сборник трудов XXI международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 5 – 9 октября 2015 г.: в 2 т. / Научный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). Т. 1. – [С. 135-137].

2. Пашковский Р.В., Коньков Н.С. Численное моделирование температурного состояния среды в жаровой трубе камеры сгорания // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016, Т. 327; № 9. – [принята к опубликованию].