TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»
Отделение нефтегазового дела

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Разработка мероприятий, направленных на повышение эксплуатационных свойств ГПА-32 «Ладога» в условиях высокого температурного воздействия»

УДК 621.865.8-047.44:622.692.4.053

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6Б	Тусаев А.Р.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Саруев А.Л.	к.т.н, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Черемискина М.С.	ассистент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Брусник О.В.	к.п.н, доцент		

Томск – 2020г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	*Результат обучения (выпускник должен быть готов)*	*Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон*
В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями		
Общие по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»		
Р1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	*Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, УК-6, УК-7, ОПК-1,ОПК-2), (EAC-4.2, ABET-3A, ABET-3i).*
Р2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	*Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, УК-3,УК-4, УК-5,УК-8, ОПК-2, ОПК-6, ОПК-7).*
в области производственно-технологической деятельности		
Р3	Применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику при эксплуатации и обслуживании технологического оборудования нефтегазовых объектов	*Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-7,ПК-8,ПК-9, ПК-10, ПК-11).*
Р4	Оценивать риски и определять меры по обеспечению безопасности технологических процессов в практической деятельности и применять принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды в нефтегазовом производстве	*Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-8, ОПК-6, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15).*
в области организационно-управленческой деятельности		
Р5	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, организовывать работу первичных производственных подразделений, используя принципы менеджмента и управления персоналом и обеспечивая корпоративные интересы	*Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3, УК-8, ОПК-3, ОПК-7, ПК-16,ПК-17, ПК-18), (EAC-4.2-h), (ABET-3d).*
Р6	Участвовать в разработке организационно-технической документации и выполнять задания в области сертификации нефтегазопромыслового оборудования	*Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, , ПК-19, ПК20, ПК-21, ПК-22).*
в области экспериментально-исследовательской деятельности		
Р7	Получать, систематизировать необходимые данные и проводить эксперименты с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий для решения расчетно-аналитических задач в области нефтегазового дела	*Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-26).*
в области проектной деятельности		
Р8	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации объектов бурения нефтяных и газовых скважин, добычи, сбора, подготовки, транспорта и хранения углеводородов	*Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-27, ПК-28, ПК-29, ПК-30), (ABET-3c), (EAC-4.2-e).*
Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»		
Р9	Применять диагностическое оборудование для проведения технического диагностирования объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	*Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-9,ПК-14), требования профессионального стандарта 19.016 "Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов".*
Р10	Выявлять неисправности трубопроводной арматуры, камер пуска и приема внутритрубных	*Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11),*

Код результата	*Результат обучения (выпускник должен быть готов)*	*Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон*
	устройств, другого оборудования, установленного на ЛЧМГ и ЛЧМН	*требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".*
Р11	Оценивать результаты диагностических обследований, мониторингов, технических данных, показателей эксплуатации объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	*Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".*

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»
Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП ОНД ИШПР

_____ _____ Брусник О.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Б6Б	Тусаеву Андрею Романовичу

Тема работы:

«Разработка мероприятий, направленных на повышение эксплуатационных свойств ГПА-32 «Ладога» в условиях высокого температурного воздействия»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

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.).*	Газоперекачивающий агрегат ГПА-32 «Ладога» Номинальная мощность, не менее: 31,2 МВт Коэффициент полезного действия, не менее: 36,0% Степень сжатия газа: 1,4 Номинальная частота вращения: 5714 об\мин Расход топливного газа: 1,78 кг/с

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).*	Провести анализ конструкции газоперекачивающего агрегата ГПА-32 «Ладога», рассмотреть его конструкционные особенности; предложить внесение изменений в конструкцию, повышающих эксплуатационные свойства агрегата и упрощающих его конструкцию.
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Рыжакина Т.Г., доцент
«Социальная ответственность»	Черемискина М.С., ассистент
Расчетная часть	Бурков П.В., ассистент
Теоретическая информация	Абрамов Н.В., студент
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Саруев А.Л.	к.т.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6Б	Тусаев Андрей Романович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Б6Б	Тусаеву Андрею Романовичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ им. И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	21.03.01 Нефтегазовое дело

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	*Материальные затраты – средняя стоимость по Томску.*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	*Оклад работников в соответствии с единой тарифной сеткой для бюджетников.*
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	*Премиальный коэффициент – 0,3; Коэффициент доплат и надбавок – 0,2..0,3; Районный коэффициент – 1,3; Коэффициент доп. з.п. – 0,13; Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 0,28.*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения*	*1) Сегментирование;* *2) Анализ конкурентных технических решений;* *3) SWOT-анализ;*
2. *Планирование и формирование бюджета научных исследований*	*1) Структура работ в рамках НИ;* *2) Определение трудоёмкости выполнения НИ;* *3) Разработка графика проведения НИ;* *4) Бюджет НТИ;*
3. *Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования*	*1) Интегральный финансовый показатель разработки;* *2) Интегральный показатель ресурсоэффективности;* *3) Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки;* *4) Сравнительная эффективность проекта.*
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)***:**	
1. *Оценка конкурентоспособности технических решений* 2. *Матрица SWOT* 3. *Альтернативы проведения НИ* 4. *График проведения и бюджет НИ* 5. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Т.Г.	Доцент, к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6Б	Тусаев Андрей Романович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Б6Б	Тусаеву Андрею Романовичу

Школа	ИШПР	**Отделение**	ОНД
Уровень образования	Бакалавриат	**Направление**	21.03.01 Нефтегазовое дело «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта нефти и газа»

Тема ВКР:

«Разработка мероприятий, направленных на повышение эксплуатационных свойств ГПА-32 «Ладога» в условиях высокого температурного воздействия»	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	ГПА-32 «Ладога», область применения: транспортировка природного газа по магистральным трубопроводам.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– *«Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018);* – *ГОСТ 29328-92 Установки газотурбинные для привода турбогенераторов. Общие технические условия;* – *РД 153. 34.0-03.301-00 (ВППБ 01-02-95*) Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий;* – *ПОТ РМ-026-2003 Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации газового хозяйства организаций;* – *СНиП 2.04.05 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».*
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– *повышенный уровень шума на рабочем месте;* – *повышенный уровень вибрации;* *отклонение показателей микроклимата;* – *повышенное значение напряжения в электрической цепи;* – *недостаточная освещённость рабочей зоны;* *падение твердых, сыпучих, жидких объектов на работающего.*
3. Экологическая безопасность:	– *защита атмосферы (вредные выбросы в атмосферу);* – *защита гидросферы (сточные воды);* – *защита литосферы (отравление почв во время утечек).*
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– *опасность возникновения пожаров, взрывов и последующей ударной волны при эксплуатации ГПА;* – *опасность падения подвешенных предметов при проектировании.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	**Черемискина М.С.**	**аспирант**		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6Б	**Тусаев Андрей Романович**		

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»
Уровень образования бакалавриат
Отделение нефтегазового дела
Период выполнения (весенний семестр 2020/2021 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
28.04.2020	*Введение, краткое описание конструкции ГПА-32 «Ладога»*	
25.04.2020	*Анализ существующих технологий*	
09.05.2020	*Расчетная часть*	
19.05.2020	*Заключение*	
03.06.2020	*Социальная ответственность*	
11.06.2020	*Финансовый менеджмент*	
15.06.2020	*Презентация*	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Саруев А.Л.	к.т.н, доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Брусник О.В.	к.п.н, доцент		

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Газотранспортная система: Совокупность взаимосвязанных газопроводов и сопутствующих им сооружений, предназначенных для обеспечения газом потребителей.

Компрессорная станция: Комплекс сооружений газопровода (магистрального), предназначенный для компримирования газа.

Газоперекачивающий агрегат: Технологическое устройство, включающее привод и нагнетатель, предназначенное для повышения давления в магистральном газопроводе.

Авария: Разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ.

Надежность: Свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания.

Нагрузка: Силовое воздействие, вызывающее изменение напряженно-деформированного состояния агрегата.

Подшипник: сборочный узел, являющийся частью опоры или упора и поддерживающий вал, ось или иную подвижную конструкцию с заданной жёсткостью.

Эксплуатационные свойства: свойства, характеризующие выполнение изделием работ, для которых оно предназначено. Эти свойства

определяют приспособленность изделия к условиям эксплуатации, а также эффективность и удобство его использования.

Газотурбинный двигатель: тепловой двигатель, в котором энергия газовоздушной смеси, получаемой при сгорании топлива в камере сгорания, преобразуется в механическую работу с помощью газовой турбины.

Нагнетатель природного газа: машины со степенью сжатия большей 1,1, не имеющие специальных устройств для охлаждения газа.

Статор: неподвижная часть машины, взаимодействующая с ротором.

Ротор: вращающаяся часть двигателей и рабочих машин, на которой расположены органы, получающие энергию от рабочего тела.

Ступень компрессора: совокупность элементов компрессора, совершающих однократное сжатие объема воздуха, определенного геометрическими параметрами этих элементов.

СОКРАЩЕНИЯ:

ГПА – газоперекачивающий агрегат;

ГТД – газотурбинный двигатель;

ГТУ – газотурбинная установка;

ПУ – подшипниковый узел;

КПД – коэффициент полезного действия;

МП – магнитный подвес;

СГУ – сухое газодинамическое уплотнение;

КС – компрессорная станция.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 74 страницы, 7 рисунков, 17 таблиц, 33 источника цитируемой литературы.

Ключевые слова: природный газ, транспортировка газа, компрессорная станция, газотурбинный двигатель, подшипниковый узел, система маслоснабжения, магнитный подвес, сухое газодинамическое уплотнение, повышение надежности, эксплуатационные свойства, упрощение конструкции двигателя.

Объектом исследования является газотурбинный двигатель MS5002E в составе ГПА-32 «Ладога».

Цель работы: изучение возможности, результатов, технологической и экономической целесообразности внесения изменений в конструкцию ГПА-32 «Ладога», направленных на повышение его эксплуатационных свойств в условиях высокого температурного воздействия.

В процессе работы был проведен анализ конструкции отдельных узлов ГПА-32 «Ладога» и рассмотрена возможность их изменения для повышения эксплуатационных свойств агрегата и упрощения его конструкции.

В результате исследования: теоретически обосновано внедрение в конструкцию ГПА-32 «Ладога» изменений, проведен расчет нагрузки на подшипниковый узел.

Область применения: компрессорные станции линейной части магистральных газопроводов.

ABSTRACT

The final qualification work contains 74 pages, 7 figures, 17 tables, 33 sources of cited literature.

Key words: natural gas, gas transportation, compressor station, gas turbine engine, bearing assembly, oil supply system, magnetic suspension, dry gas dynamic seal, increased reliability, performance, simplification of engine construction.

The object of research is the MS5002E gas turbine engine as part of the GPU-32 “Ladoga”.

Objective: to study the possibilities, results, technological and economic feasibility of making changes to the design of GPU-32 “Ladoga”, aimed at improving its operational properties under high temperature conditions.

In the process of work, an analysis of the designs of individual units of GPU-32 “Ladoga” was carried out and the possibilities of changing them to increase the operational properties of the units and simplify its design were considered.

As a result of the study: theoretically justified the introduction of changes in the design of GPU-32 "Ladoga", the calculation of the load on the bearing assembly.

Scope: compressor stations of a linear part of the main gas pipelines.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение……15

1. Краткое описание конструкции ГПА-32 «Ладога»……..17
2. Анализ существующих технологий……...22

2.1. Агрегаты АО «РЭП-Холдинг»……23

2.2. Агрегаты «ОДК-Газовые турбины»……....25

2.3. Агрегаты ПАО НПО «Искра»……..26

2.4. Итоги анализа……27

3. Расчетная часть……29
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение……...33

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения……33

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования……33

4.1.2. Анализ конкурентных технических исследований……..34

4.1.3. SWOT-анализ……...37

4.2. Планирование научно-исследовательских работ……..40

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования……..40

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ……41

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования……42

4.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)……44

4.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования……..51

4.4. Вывод……54

					Разработка мероприятий, направленных на повышение эксплуатационных свойств ГПА-32 «Ладога» в условиях высокого температурного воздействия			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Тусаев А.Р.			Оглавление	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Саруев А.Л.					13	74
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2Б6Б		
Рук-ль ООП		Бурков П.В.						

5. Социальная ответственность……..56
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности……..56
5.2. Производственная безопасность…….58
5.3. Экологическая безопасность……...65
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях……..67
5.5. Вывод……68
6. Заключение…….....69
Список литературы……..71

ВВЕДЕНИЕ

Транспорт газа – важнейшая часть газовой отрасли. Благодаря ей «голубое топливо» может использоваться за многие километры от места его добычи. Современные газотранспортные предприятия представляют собой сложные комплексы технологических объектов, рассредоточенных на больших площадях, размеры которых достигают десятков и сотен квадратных километров. Для организации работы всей системы и реализации этого технически сложного и важного процесса были разработаны множественные технические решения, позволившие упростить процесс транспортировки и повысить стабильность и объемы перекачиваемого топлива. В частности, одно из множества таких решений – создание газоперекачивающих агрегатов, без которых невозможно осуществить сам процесс транспортировки топлива.

На сегодняшний день существует множество газоперекачивающих агрегатов различной мощности, конструктивного исполнения, КПД. Однако разработка конструктивных изменений в существующие агрегаты и создание новых типов ГПА не стоит на месте. Повышение эксплуатационных свойств газоперекачивающих агрегатов – одно из важнейших направлений их разработки.

Однако не стоит ограничиваться только технической стороной этого вопроса. Экономический и экологический ущерб от аварийного простоя агрегата также очень велик. Нарушение герметичности агрегата приводит к значительным потерям транспортируемых продуктов, а также простою потребителя во время ремонта. Ликвидация дефектов и повреждений при эксплуатации газоперекачивающего агрегата или целого компрессорного цеха вызывает большие затраты в связи с остановками перекачки и большим

объемом ремонтных работ.

На примере ГПА-32 «Ладога» в данной работе я хочу рассмотреть возможность и целесообразность внесения такого изменения, которое может избежать вышеперечисленных проблем, повысить эксплуатационные свойства агрегата, а также принципиально изменить его конструкцию, повысив ее надежность и упростив ее.

1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГПА-32 «ЛАДОГА»

ГПА-32 «Ладога» – газоперекачивающий агрегат с газотурбинным приводом мощностью 32 МВт производства АО «РЭП Холдинг». Он отличается высоким качеством изготовления, отличными показателем КПД в 36%, низким уровнем эмиссии и способностью работать практически в любых климатических условиях. Агрегат производится по лицензии и в сотрудничестве с GE Oil & Gas – американской компанией, занимающейся разработкой объектов тяжелого машиностроения [4].

Основными составляющими частями ГПА-32 «Ладога» являются газотурбинный двигатель MS5002E и нагнетатель природного газа Н-400 различного исполнения. Так как в моей работе я затрагиваю только устройство ГТД, рассмотрим его строение и проверим возможность внесения изменения в конструкцию для повышения его эксплуатационных свойств.

Газотурбинный двигатель состоит из компрессорной и турбинной частей, между которыми находятся противоточные камеры сгорания, вынесенные за пределы габаритов ГТД. Такая компоновка двигателя позволяет сэкономить пространство, значительно сокращая его длину без потерь в характеристиках. На роторной части нагнетателя установлены нагнетающие, а на статорной – спрямляющие лопатки, нагнетающие воздух, необходимые для окисления топливно-воздушной смеси в камерах сгорания. Пара статорных и роторных лопаток образуют ступень нагнетателя. Турбинная часть также представляет собой ступени лопаток на статоре и рабочих колесах ротора. Строение двигателя представлено на рис. 1.1.

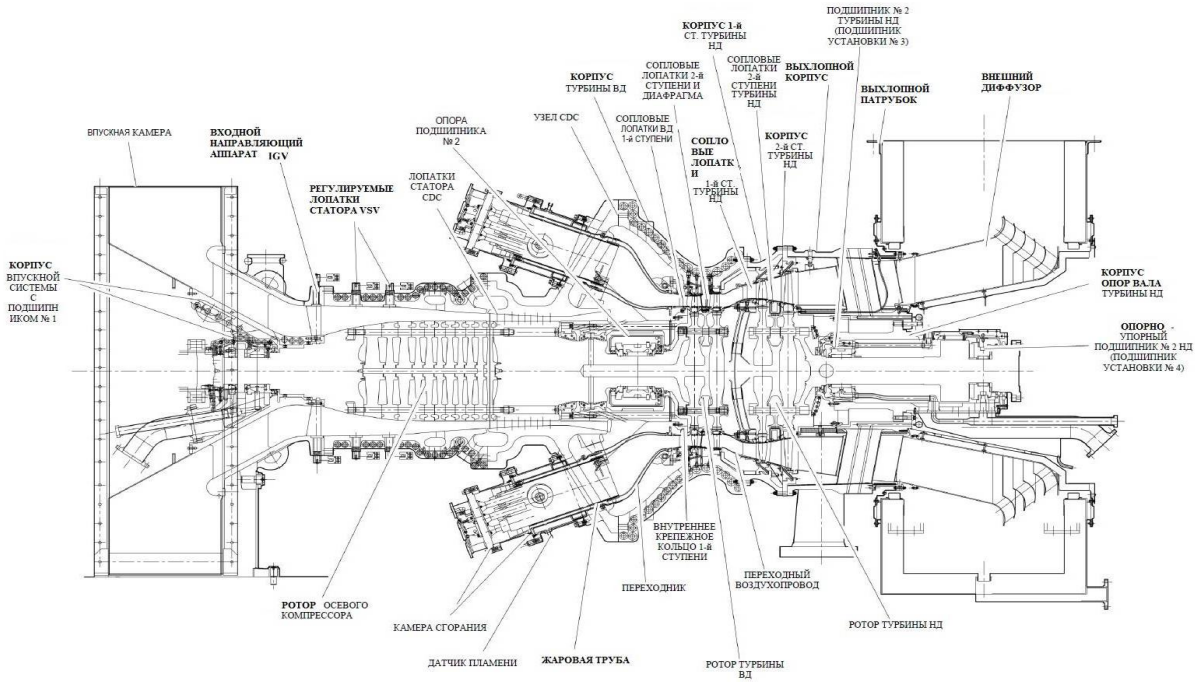

Рисунок 1.1. ГТД MS5002E в продольном разрезе.

Одной из систем, обеспечивающих нормальную работу агрегата, является система маслоснабжения. В данном газоперекачивающем агрегате система маслоснабжения выполнена общей для нагнетателя газа и ГТД. Она предназначена для отвода тепла с нагревающихся частей установки и смазывания деталей для обеспечения их нормального функционирования. В частности, такими деталями являются подшипниковые узлы, расположение которых отображено на рис. 1.2.

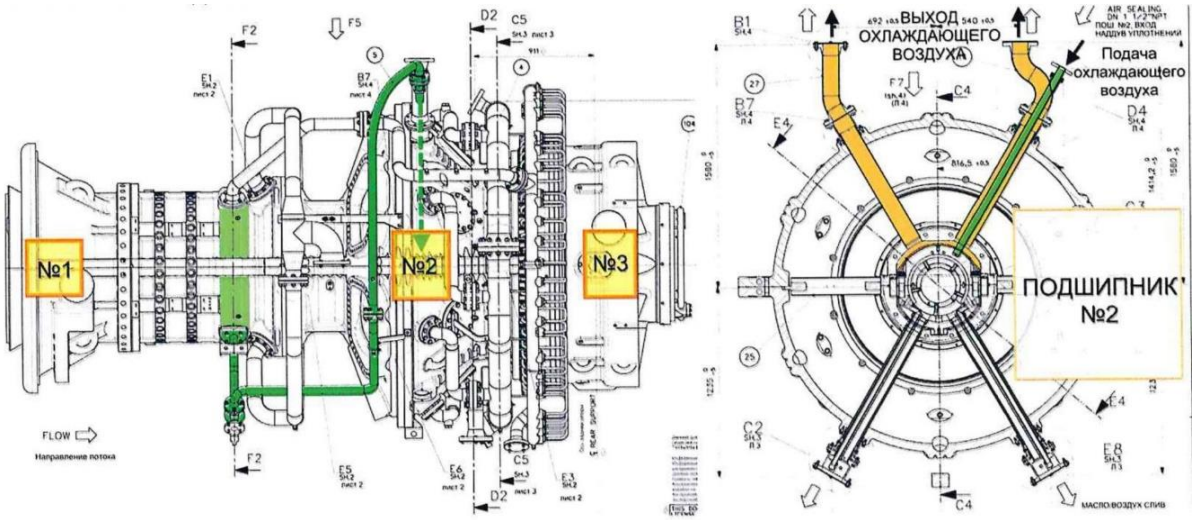

Рисунок 1.2. Обозначение подшипниковых узлов и подвода-отвода масла и воздуха.

Как можно видеть из данного рисунка, на подшипник №2 подается также воздушное охлаждение в дополнение к жидкостному, отбор воздуха для которого производится со ступеней компрессора. Это связанно с тем, что помимо нормального эксплуатационного нагрева данного подшипника, обусловленного силой трения вала об масло, на него воздействует тепло, вырабатываемое при сгорании топливно-воздушной смеси в камерах сгорания, так как данный подшипниковый узел конструктивно выполнен под ними. Соответственно, можно предположить, большая часть масла, подающегося на охлаждение подшипниковых узлов, расходуется именно на подшипник №2. Это подтверждается схемой маслообеспечения ГТД, представленной на рис. 1.3.

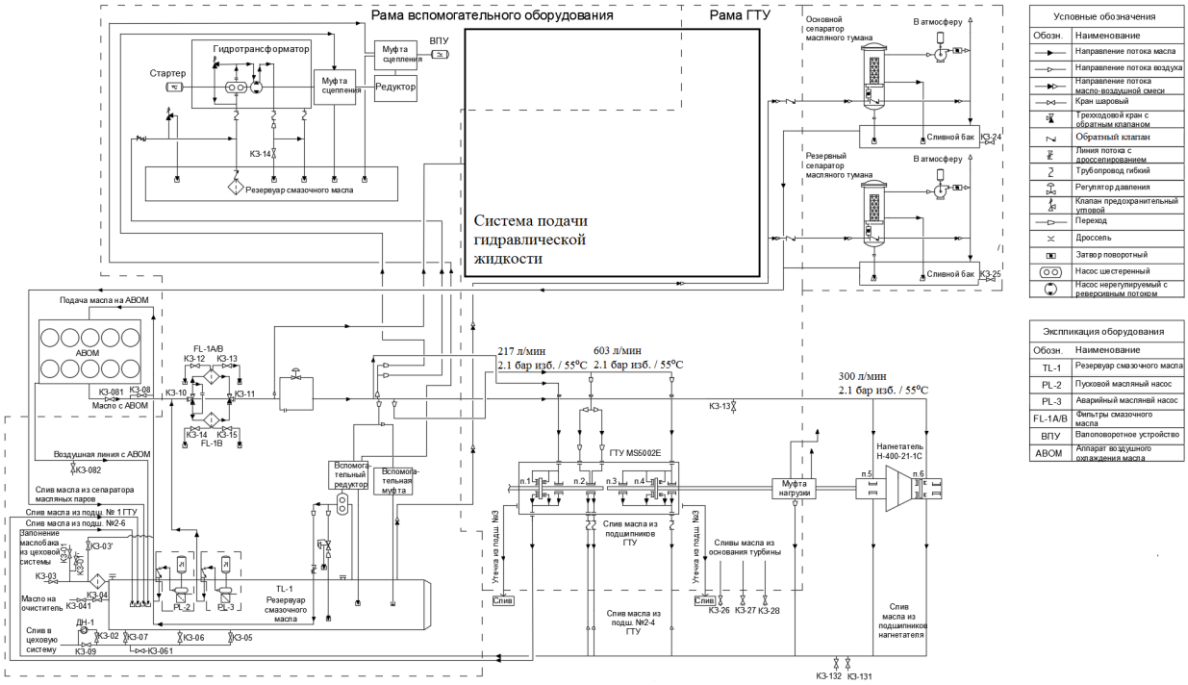

Рисунок 1.3. Схема маслоснабжения ГПА-32 «Ладога»
с обозначениями.

Из данной схемы можно увидеть, что расход масла на подшипник №2, обозначенный на рисунке как п.2, практически в 3 раза превышает расход масла на остальные подшипники ГТД и в 2 раза – на подшипник нагнетателя. Более того, для более эффективного отвода тепла предусмотрено две линии подвода масла на узел. Такое техническое решение обусловлено тем, что нагрев данного подшипникового узла

действительно велик. Однако, если внести определенные изменения в конструкцию вала ГПА, в частности перенос и/или теплоизолирование подшипникового узла №2, теоретически можно избавиться от чрезмерного нагрева данного узла, тем самым решив проблему его охлаждения и, как следствие, упростив или даже упразднив систему охлаждения узлов ГПА-32 «Ладога» в целом. Данное решение в теории позволит создать полностью «сухой» газоперекачивающий агрегат, снизив затраты на его эксплуатацию, упростив ремонт и обслуживание всего ГПА.

Решение этой задачи, изложенное в данной работе, заключается в замене всех подшипниковых узлов ГПА на магнитные подвесы. Так возможно упразднить систему маслоснабжения нагнетателя и двигателя. Данное решение не является принципиально новым для проектирования и производства газоперекачивающих агрегатов и успешно применяется в некоторых моделях ГПА. В частности, нагнетатели ГПА-16/ДКС-100 используют магнитные подвесы вместо стандартных подшипников скольжения.

Таким образом, замена подшипниковых узлов на магнитные подвесы заметно упрощает конструкцию ГПА, делая его проще в обслуживании и эксплуатации. Но для ГТУ MS5002E в составе ГПА-32 «Ладога» существует проблема чрезмерного нагрева подшипникового узла №2. Каждое намагниченное тело имеет значение температуры, при котором это тело теряет свои магнитные свойства. Это значение называется точкой Кюри и для сталей оно равно 1043 К. Соответственно, при превышении этой температуры, сталь теряет свои ферромагнитные свойства и применение магнитных подвесов становится бессмысленным.

Эту проблему предлагается решить перемещением самого подшипникового узла под последние ступени нагнетательной части ГТД. Это позволит конструктивно удалить узел от камер сгорания, тем самым снизив их температурное воздействие на него. Если проблема охлаждения будет являться актуальной, одним из вариантов охлаждения магнитного

подвеса может быть отбор воздуха со ступеней нагнетательной части ГТД, как это реализовано в существующей конструкции ГПА.

2. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

На сегодняшний день модернизация газоперекачивающих агрегатов и их узлов – актуальная задача для заводов-изготовителей. Множество предприятий предлагают различного рода решения, повышающие эксплуатационные свойства установок, такие как повышение КПД, улучшение надежности подшипниковых узлов, совершенствование конструкции уплотнений.

Магнитный подшипниковый узел – разновидность подшипникового узла, который основан на принципе действия магнитной левитации. Магниты, установленные на статорной части установки, создают магнитное поле с определенными параметрами, в результате чего под действием этого поля на роторную часть она начинает левитировать. В результате получается механически бесконтактная пара, обладающая высокой износостойкостью и возможностью работы в различных низко- и высокотемпературных и химически агрессивных условиях.

Различают активные и пассивные магнитные подвесы. Магнитное поле пассивных магнитных подвесов создается высокоэнергетическими постоянными магнитами. Данная разновидность подшипников слабо изучена и в настоящее время не представляет интереса в рамках данной работы. Гораздо более изученным и распространенным типом магнитных подвесов являются активные магнитные подвесы. Принцип их действия основан на создании магнитного поля индукционными токами, протекающими в обмотках статора. Такое решение позволяет контролировать положение ротора в процессе его работы, что позволяет избежать аварийных ситуаций, когда ротор может задевать статор. [23]

Замена масляных подшипников скольжения на магнитные подвесы не является новинкой. В настоящее время такую процедуру проходят многие двигатели и агрегаты, находящиеся на реставрации, а также новые ГПА, находящиеся в разработке. Такое улучшение, вносимое в их конструкцию, позволяет повысить КПД установки и ее надежность, а также сократить эксплуатационные расходы. Также данная технология позволяет полностью упразднить систему маслоснабжения, которая необходима для безаварийной работы стандартных подшипников скольжения.

2.1 Агрегаты АО «РЭП-Холдинг»

В настоящее время уже существуют различные газотурбинные двигатели и центробежные нагнетатели, в которых уже внедрена система магнитных подвесов. Например, компания АО «РЭП-Холдинг» имеет целую линейку нагнетателей разных мощностей, имеющих в своей конструкции активные магнитные подвесы. В этом случае масло, необходимое для смазывания зон контакта подвижных частей и отвода тепла от них, не подается на агрегат. Этим достигается упрощение конструкции агрегата, облегчение его обслуживания, повышение надежности ввиду упразднения целой системы вспомогательного оборудования и повышение его эксплуатационных свойств.

В пример можно привести нагнетатель Н 220-11-1СМП мощностью 4 МВ, изображенный на рисунке 2.1.

Рисунок 2.1. Нагнетатель Н 220-11-1СМП на КС «Володино»

Данный нагнетатель выполнен полностью «сухим», то есть в его конструкцию входят активные магнитные подвесы и сухие газодинамические уплотнения. Это позволяет упразднить систему маслоснабжения данного узла ГПА, что упрощает его обслуживание и повышает его надежность. Также стоит отметить особенность конструкции нагнетателей данной фирмы: все нагнетатели, произведенные АО «РЭП-Холдинг» выполнены в виде своеобразного «пакета», состоящего из цилиндрического корпуса и внутренней части. Данное решение позволяет в случае неисправности нагнетателя без полной его разборки вынуть его внутреннюю часть и заменить ее новой, исправной, находящейся на хранении. Такая конструкция является удачной с точки зрения обслуживания и ремонта, так как позволяет произвести замену неисправной части в кратчайшие сроки. Неисправный нагнетатель в данном случае может ремонтироваться либо в цеховых условиях, либо отправляться на завод-изготовитель для устранения причин поломки.

Кроме Н 220-11-1СМП, АО «РЭП-Холдинг» также выпускает нагнетатели Н 200-11-1СМП, Н 300-21-1СМП и Н 320-21-1СМП. Данные

нагнетатели похожи внешне и конструктивно, различие между ними лишь в размерах, мощности, производительности и других параметрах. [32]

2.2 Агрегаты «ОДК-Газовые турбины»

Однако данная компания не единственная, которая занимается внедрением магнитных подвесов в конструкцию газоперекачивающих агрегатов. Данными наработками в том числе занимается компания «ОДК-Газовые турбины». Однако, в отличие от АО «РЭП-Холдинг», которая работает в сотрудничестве с американской компанией General Electrics и занимается адаптацией зарубежных двигателей к отечественным условиям эксплуатации, «ОДК-Газовые турбины» ведет самостоятельную разработку магнитных подвесов и проводит замену существующих масляных подшипниковых узлов на магнитные подвесы собственной разработки. Также компания производит и предоставляет услуги замены существующего контрольно-измерительного оборудования, установленного на ГПА, на собственное без замены заводских узлов установки.

Примером установки с использованием магнитных подвесов, разработанной «ОДК-Газовые турбины», является ГПА-Ц-25НК мощностью 25 МВт. Он комплектуется тремя видами нагнетателей: с масляными подшипниками и масляными уплотнениями, с масляными подшипниками и сухими уплотнениями и полностью «сухой». Последний, РТМ-25, изображен на рисунке 2.2.

Рисунок 2.2. Нагнетатель РТМ-25.

Данный нагнетатель является высокомощным и применяется ПАО «Газпром» на ряде компрессорных станций магистрального газопровода «Южный поток». Он имеет большой КПД, высокие показатели надежности и прост в эксплуатации. [18]

2.3 Агрегаты ПАО НПО «Искра»

Еще одной фирмой, занимающейся производством и разработкой газотурбинных установок, является ПАО НПО «Искра». Данная компания является наиболее опытным поставщиком газоперекачивающего оборудования в России. Она выпускает широкую линейку ГПА самых различных конфигураций под собственной торговой маркой «Урал». [20]

Агрегаты ПАО НПО «Искра» используются во многих ключевых проектах ПАО «Газпром», в частности на газопроводах «Голубой поток», «Сахалин-Хабаровск-Владивосток», «Ямал-Европа», «Северный поток» и прочих, что определяет эту компанию как надежного поставщика, способного произвести наиболее подходящую под нужды газоперекачивающей отрасли продукцию. [3]

Примерами агрегатов, на которые производитель устанавливает магнитные подвесы, являются нагнетатели НЦ-12 М, НЦ-16 М и НЦ-25 М различных модификаций [19]. На рисунке 2.3 представлен нагнетатель НЦ-16М.

Рисунок 2.3. НЦ-16 М, установленный на ГКС «Сахалин».

Различия данных нагнетателей, как и в случае с нагнетателями фирмы АО «РЭП-Холдинг», заключаются в габаритах, мощности, производительности и прочих параметрах. Сами же нагнетатели конструктивно схожи между собой. Также, на всех нагнетателях данной линейки применяются сухие газодинамические уплотнения, что дает возможность полностью отказаться от системы маслообеспечения нагнетателя.

2.4 Итоги анализа

Таким образом, при рассмотрении образцов агрегатов различных производителей, можно сделать вывод о том, что магнитные подвесы используются на нагнетателях природного газа различных мощностей. Также можно отметить, что магнитные подвесы применяются только в паре

с сухими газодинамическими уплотнениями. Однако нет ни одного упоминания об использовании магнитных подвесов в конструкции газотурбинных двигателей. Возможно, данная проблема уже решается компаниями-производителями газоперекачивающих агрегатов и газотурбинных двигателей, однако найти информацию об этом также не удалось.

Тем не менее, предложение о замене масляных подшипников скольжения ГТД на магнитные подвесы рационально, так как при данной модернизации конструкция двигателей заметно упростится, повысится общая надежность и простота обслуживания, а также КПД; уменьшатся финансовые издержки на обслуживание агрегата. Также возможно появление новых компоновок отдельных узлов двигателя, уменьшающих общую его длину, а также других более глубоких изменений конструкции, применению которых мешала необходимость смазки подшипников и применения масла для уплотнений.

3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения анализа температурного влияния камер сгорания на подшипниковый узел необходимы дополнительные данные, такие как температура пламени в камере сгорания ГТД, марка стали или сплава, из которых выполнен агрегат, для получения значения теплопроводности материала двигателя, температура нагрева подшипникового узла в нормальном состоянии и с учетом воздействия тепла, выделяемого камерами сгорания, пр. Найти эти данные в открытых источниках мне не удалось, поэтому температурный расчет провести не представляется возможным. Однако, возможно провести расчет радиальной нагрузки на подшипник скольжения согласно гидродинамической теории смазки, а также ГОСТ 7902-1-2001. [15, 21]

Согласно данной теории, для режима жидкостного трения радиальная нагрузка на подшипник определяется формулой:

$$F = \frac{\mu \cdot \omega \cdot l \cdot d \cdot \Phi}{\psi^2}, \quad (3.1)$$

где μ - динамическая вязкость, МПа·с; ω – угловая скорость, рад/с; l – длина цапфы, мм; Ф – коэффициент нагруженности, ψ – относительный зазор.

Из данной формулы можно выразить коэффициент нагруженности подшипника:

$$\Phi = \frac{F \cdot \psi^2}{\mu \cdot \omega \cdot l \cdot d} = \frac{p \cdot \psi^2}{\mu \cdot \omega}, \quad (3.2)$$

где p – условное среднее давление между цапфой и вкладышем подшипника, МПа.

Исходя из значения условного среднего давления выбирается материал вкладыша. Однако так как для выбранного газотурбинного двигателя в большинстве случаев применяется баббит Б16, при численных расчетах будем использовать максимальное значение условного среднего

давления для этого материала.

Угловую скорость вращения вала можно найти по формуле:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n, \tag{3.3}$$

где n – частота вращения вала, об/с

Относительный зазор определяется эмпирической формулой:

$$\psi = \frac{V^{0,25}}{7040}, \tag{3.4}$$

где V – окружная скорость цапфы, мм/с. Этот параметр так же влияет на выбор вкладыша для подшипника, однако при расчетах примем значение окружной скорости цапфы для баббита Б16, так как этот материал используется в большинстве случаев.

Длина цапфы зависит от ее диаметра и определяется формулой:

$$l = \varphi \cdot d, \tag{3.5}$$

где φ – коэффициент, значение которого в большинстве случаев лежит в диапазоне 0,5…1,2.

Значения динамической вязкости выбирается в зависимости от типа масла и рабочей температуры по графику на рисунке 3.1.

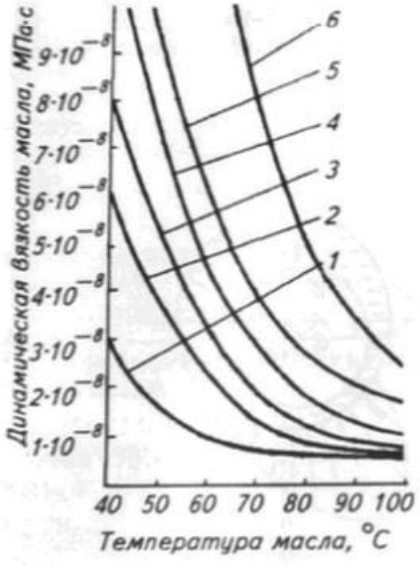

Рисунок 3.1. График для выбора динамической вязкости масла:

1 – индустриальное 20

Для расчетов примем диаметр цапфы d = 400 мм, марка масла – индустриальное 20 (И20), материал цапфы – баббит Б16 (окружная скорость V ≤ 12000 мм/с (примем равной 12000 мм/с), условное среднее давление p ≤ 15 Мпа (примем равным 15 Мпа)), частоту вращения вала n примем равной номинальной частоте вращения – 5714 об/мин, температуру подшипника примем равной 60°С.

Необходимо рассчитать допустимую радиальную нагрузку на подшипник F при заданных условиях. Для этого необходимо найти все неизвестные и подставить в формулу (3.1). Найдем их.

Относительный зазор равен:

$$\psi = \frac{V^{0,25}}{7040} = \frac{12000^{0,25}}{7040} = 1,49 \cdot 10^{-3}$$

Угловая скорость вращения вала равна:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 598,37 \text{ рад/с}$$

По графику на рисунке 3.1 определим значение динамической вязкости масла И20. При данных условиях примем значение динамической вязкости масла равным $1,2 \cdot 10^{-8}$ МПа·с.

Коэффициент нагруженности подшипника равен:

$$\Phi = \frac{F \cdot \psi^2}{\mu \cdot \omega \cdot l \cdot d} = \frac{p \cdot \psi^2}{\mu \cdot \omega} = \frac{15 \cdot 1,49 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 10^{-8} \cdot 598,37} = 4,64$$

Примем коэффициент φ = 0,85, тогда длина цапфы равна:

$$l = \varphi \cdot d = 340 \text{ мм}$$

Подставим полученные значения в формулу (3.1) и рассчитаем допустимую радиальную нагрузку на подшипник:

$$F = \frac{\mu \cdot \omega \cdot l \cdot d \cdot \Phi}{\psi^2} = \frac{1,2 \cdot 10^{-8} \cdot 598,37 \cdot 0,34 \cdot 0,4 \cdot 4,64}{(1,49 \cdot 10^{-3})^2} = 2040964,307 \text{ Н}$$

$$= 2,041 \text{ МН}$$

Таким образом, допустимая радиальная нагрузка, создаваемая валом ГДТ, составляет 2,041 МН. При дальнейших расчетах и проектировании магнитного подвеса, которым в рамках данной работы предполагается заменить существующий масляный подшипниковый узел, следует учитывать, что он должен обладать достаточной мощностью для того, чтобы выдержать данную нагрузку. Также необходимо учитывать тот факт, что температурное влияние, оказываемое на подшипниковый узел, способно ослабить магнитное поле. Соответственно, необходимо обеспечить повышенную надежность и мощность данного узла.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСНАБЖЕНИЕ

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

Целью данной главы является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Задачей данной выпускной квалификационной работы является рассмотрение возможности модернизации газотурбинного двигателя для привода центробежного нагнетателя ГПА-32 «Ладога» мощностью 32 МВт.

Раздел предназначен для оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения проекта, составление плана работ, определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Для того, чтобы определить потенциального потребителя проектируемого объекта, необходимо сначала определить целевой рынок сбыта, затем выполнить его сегментирование.

В нашем случае целевым рынком будет являться, в первую очередь, предприятия транспортировки и подачи природного газа по трубопроводам, например дочерние предприятия ПАО «Газпром», осуществляющие транспорт газа, и др. второстепенные. Также, при определённых изменениях технического устройства объекта проектирования, возможно использование установок для транспортировки нефти по трубопроводам, а также производства электроэнергии.

Категорией потребителей в нашем случае будут выступать предприятия России, занимающиеся транспортировкой природного газа по трубопроводам. Географическое месторасположение – практически все климатические зоны, в силу широкого диапазона температур наружного воздуха, при котором функционирует объект проектирования. Из-за технологичности изготовления, определённых сложностях и относительной дороговизны эксплуатации, позволить себе его сможет предприятие с достаточными финансовыми и кадровыми ресурсами.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для проведения анализа необходимо провести детальный анализ конкурирующих разработок и оценить зарубежных конкурентов, однако оценка зарубежного опыта не представляется возможным из-за недостатка информации. Поэтому проведём сравнение с газотурбинным приводом схожей мощности, применяемым на газокомпрессорных станциях – ГПА-32 «Ладога» производства АО «РЭП-Холдинг», ГПА-Ц-16 и ГПА-Ц-25 производства АО «ОДК».

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		$Б_{собств.}$	$Б_{ГПА-32}$	$Б_{ГПА-Ц-16}$	$Б_{ГПА-Ц-25}$	$К_{собств.}$	$К_{ГПА-32}$	$К_{ГПА-Ц-16}$	$К_{ГПА-Ц-25}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Эффективность работы	0,14	4	2	3	3	0,56	0,28	0,42	0,42
2. Надёжность	0,1	3	4	4	4	0,3	0,4	0,4	0,4
3. Безопасность	0,1	3	3	3	3	0,3	0,3	0,3	0,3
4. Габаритные размеры	0,08	3	2	2	2	0,24	0,16	0,16	0,16

5. Уровень шума	0,07	2	1	1	1	0,14	0,07	0,07	0,07
6. Простота эксплуатации	0,07	3	4	3	3	0,21	0,28	0,21	0,21
7. Возможность внедрения САУ	0,06	5	2	3	3	0,3	0,12	0,18	0,18
8. Свободная мощность	0,1	5	5	5	3	0,5	0,5	0,5	0,3
9. Удобство в эксплуатации	0,04	3	4	3	2	0,12	0,16	0,12	0,08
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Уровень проникновения на рынок	0,05	1	2	2	4	0,05	0,1	0,1	0,2
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	3	3	4	0,5	0,3	0,3	0,4
3. Послепродажное обслуживание	0,03	3	3	3	3	0,09	0,09	0,09	0,09
4. Финансирование научной разработки	0,03	1	4	4	4	0,03	0,12	0,12	0,12
5. Срок выхода на рынок	0,04	1	5	5	5	0,04	0,2	0,2	0,2
Итого	1	42	44	44	44	3,37	3,03	3,12	3,08

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1 подбираются исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

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.

Для определения конкурентоспособности по показателю используется формула:

$$K = \sum B_i \cdot Б_i;$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента,

B_i – вес показателя (в долях единицы), $Б_i$ – балл i-го показателя.

Сравнительный анализ показал:

- Разрабатываемый образец потребляет меньше топлива на единицу мощности чем установки ГПА-32 и ГПА-Ц-16;
- Разрабатываемый образец имеет более высокую надёжность за счёт широкого применения ЭВМ при проектировании;
- Разрабатываемый образец обладает широкими возможностями к внедрению системы автоматического управления (САУ);
- Разрабатываемый образец не выдерживает конкуренции по большинству экономических критериев за счёт новизны проекта и высоких требований к научной базе, производственной и конструкторской мощности;

В результате можно сделать вывод о конкурентоспособности и целесообразности развития проекта, так как его перспективные эксплуатационные свойства значительно превосходят таковые у конкурентных решений.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ проводится для комплексной оценки внешней и внутренней среды проекта. Данный анализ позволяет руководителю выявить направления по развитию проекта, а также и возможные проблемы, угрожающие жизни проекта и требующие решения или особого управленческого подхода.

Таблица 2 – Матрица SWOT. Первый этап

	Сильные стороны проектируемого объекта:	Слабые стороны проектируемого объекта:
1	2	3
	С1. Быстрый процесс проектирования; С2. Заявленная высокая эффективность проекта; С3. Процесс проектирования не требует больших затрат; С4. Экологичность проекта.	Сл1. Отсутствие возможности испытаний на реально существующем образце; Сл2. Малоразвитая собственная научно-техническая база; Сл3. Узкий штат проектировщиков; Сл4. Недостаточно проверочных расчётов;
Возможности: В1. Наличие постоянного спроса целевым потребителем; В2. Технологическое отставание у конкурентов; В3. Высокая стоимость разработки у конкурентов; В4. Поддержка государством отечественных разработок;	**Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:** Быстрый процесс проектирования позволяет максимально оперативно отвечать на спрос со стороны потребителя, а низкая себестоимость проектирования позволяет охватить максимальный круг заказчиков; Заявленная высокая эффективность превосходит решения конкурентов;	**Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:** Быстрый и малозатратный процесс проектирования позволяет внедрить в проект шумоглушение и технологии уменьшения вредных выбросов; Отсутствие возможности испытаний возможно частично компенсировать использованием передовых способов компьютерного моделирования.

Угрозы: У1. Возможность введения на рынок иностранных аналогов; У2. Основной конкуренты – опытные и проверенные участники рынка; У3. Проблемы с материально-техническим обеспечением;	**Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:** Возможность введения на рынок более эффективных иностранных решений является существенной угрозой, однако преимущество в цене не будет потеряно;	**Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:** Конкуренты ведут свои разработки схожей направленности с более высоким бюджетом;

Главными сильными сторонами проекта, на которые стоит делать основной упор – это высокая скорость и малая стоимость разработок, за счёт широкого применения автоматизации проектирования и малого штата проектировщиков. За счёт этого достигается преимущество над конкурентами.

К основным угрозам и слабостям проекта относится лидирующее положение конкурентов на рынке, отсутствие возможности проведения натурных испытаний, а также малая научно-техническая база. Данные проблемы возможно решить с помощью получения поддержки от государства и целевых заказчиков, заинтересованных в развитии отрасли, а также продолжением проведения научно-исследовательских разработок с целью расширения научной базы.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

Целью данного раздела является составление перечня этапов и работ, направленных на проведение научного исследования, а также проведение распределения исполнителей по всем видам работ.

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Таблица 3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Теоретические исследования	2	Поиск необходимой литературы по ГПА-32 «Ладога»	Студент
	3	Поиск необходимой литературы по существующим и внедренным аналогам масляных подшипниковых узлов	Студент
	4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	5	Проверка расчётов и анализ необходимости оптимизации	Научный руководитель и студент
	6	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель и студент
	7	Оценка эффективности выбранной конструкции и применения проектируемого изделия	Студент

Оформление отчета по НИР	8	Составление пояснительной записки	Студент
	9	Проверка пояснительной записки и её защита	Научный руководитель и студент

Результатом данного пункта стала разбивка работы на девять этапов, распределённых по двум исполнителям.

4.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Для нахождения среднего значения трудоёмкости существует формула:

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3\text{t}_{\text{mini}} + 2\text{t}_{\text{maxi}}}{5},$$

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

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

Затем определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{\text{р}i} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i},$$

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

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

Результаты расчёта будут приведены в таблице 4 следующего раздела.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении выпускных квалификационных работ студенты, в основном, становятся разработчиками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для разработки и построения диаграммы Ганта необходимо перевести рабочие дни в календарные для каждого из этапов работ и округлить до целого числа:

$$T_{\text{кі}} = \text{T}_{\text{рі}} \cdot k_{\text{кал}},$$

где $\text{T}_{\text{рі}}$ – продолжительность выполнения і-й работы в рабочих днях;

$\text{k}_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{\text{T}_{\text{кал}} - \text{T}_{\text{вых}} - \text{T}_{\text{пр}}};$$

$$\text{k}_{\text{кал}} = \frac{\text{T}_{\text{кал}}}{\text{T}_{\text{кал}} - \text{T}_{\text{вых}} - \text{T}_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 76} = 1{,}262,$$

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

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

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

Результаты расчётов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях $\text{T}_{\text{р}i}$		Длительность работ в календарных днях $T_{\text{к}i}$	
	t_{min},чел-дни		t_{max},чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни							
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
№1	1	-	2	-	1,4	0	Научный руководитель	Студент	1,4	0	2	0
№2	-	2	-	5	0	3,2			0	3,2	0	4
№3	-	10	-	20	0	14			0	14	0	18
№4	1	1	3	3	1,8	1,8			1,8	1,8	3	3
№5	-	5	-	10	0	7			0	7	0	9
№6	-	1	-	1	0	1			0	1	0	2

№7	1	1	2	2	1,4	1,4			1,4	1,4	2	2
№8	-	2	-	5	0	3,2			0	3,2	0	4
№9	1	1	2	2	1,4	1,4			1,4	1,4	2	2

На основе таблицы 4 производится построение плана-графика в виде диаграммы Ганта.

Таблица 5 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	T_{ki}, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.			март			апрель			май			июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Науч. рук.	5														
2	Поиск необходимой литературы по ГПА-32 «Ладога»	Студент	5														
3	Поиск необходимой литературы по существующим и внедренным аналогам масляных подшипниковых узлов	Студент	20														
4	Проведение теоретических расчетов и обосно-ваний	Студент	5														
5	Проверка расчётов и анализ необходимости оптимизации	Науч. рук. и студент	10														
6	Оценка эффективности полученных результатов	Науч. рук. и студент	5														
7	Оценка эффективности выбранной конструкции и применения	Студент	5														

	проектируемого изделия																
8	Составление пояснительной записки	Студент	5														
9	Проверка пояснительной записки и её защита	Науч. рук. и студент	5														

студент – ; научный руководитель –

Итогом данного пункта стал календарный план-график проведения НИОКР.

Из диаграммы можно отметить высокие трудозатраты на поиск требуемой для выполнения работы литературы. Для более эффективного использования данного времени целесообразно проводить поиск материалов в электронных библиотеках, имеющих специальную техническую литературу по требуемым материалам, а также искать информацию напрямую у производителей на их интернет-ресурсах или с помощью звонков, что, однако, не всегда является удобным.

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Планирование бюджета позволяет оценить затраты на проведение исследования до его фактического начала и позволяет судить об экономической эффективности работы. В данном разделе подсчитываются следующие статьи расходов:

- материальные затраты на исследование;
- основное оборудование;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

4.2.4.1 Расчёт материальных затрат НТИ

В этом подразделе оценивается стоимость всех материальных ценностей, непосредственно расходуемых в процессе выполнения работ.

Материальные затраты находятся по формуле:

$$З_м = (1 + k_т) \cdot \sum_{i=1}^{m} Ц_i \cdot N_{расхi},$$

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

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i-го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м^2 и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i-го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м^2 и т.д.);

k_T– коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Результаты расчёта значений затрат сводятся в таблицу 6.

Таблица 6 – Материальные затраты и затраты на оборудование

Наименование	Ед. изм.	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы (**$З_м$**), руб.	
		Науч. рук.	Сту-дент	Науч. рук.	Студент	Науч. рук.	Студент
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Набор чертёжных карандашей	шт.	0	1	0	70	0	70
2. Автоматический карандаш	шт.	1	1	90	124	90	124
3. Линейка 30 см	шт.	1	1	60	60	60	60
4. Ластик	шт.	1	1	40	40	40	40
5. Упаковка бумаги для принтера	шт.	0	1	0	250	0	250
6. Пакет ПОМS Office	ед.	1	1	5990	5990	5990	5990
7. Персональный компьютер	ед	1	1	30000	30000	30000	30000
Итого						36189	36543

В результате суммарные материальные затраты составили 72732 рублей, основной статьёй расходов стали расходы на приобретение персональных компьютеров.

4.2.4.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей

В настоящий пункт входит основная заработная плата научных работников и студентов непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина заработной платы определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 13 % от оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 7.

Таблица 7 – Расчёт основной заработной платы

п/п	Наименование этапов		Исполнители по категориям		Трудоёмкость, чел.-дн.		Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.		Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.	
	Науч. рук.	Студент	Науч. рук.	Студент	Науч. рук.	Студент	Науч. рук.	Студент	Науч. рук.	Студент
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Разраб. т/з		I	IV	2,6	0	1,167	0,188	3,0342	0
2		Поиск необходимой литературы по ГПА-32 «Ладога»	I	IV	0	3,2	1,167	0,188	0	0,6016
3		Поиск необходимой литературы по существующим и внедренным аналогам масляных подшипниковых узлов	I	IV	0	3,2	1,167	0,188	0	0,6016
4		Проведение теоретических расчетов и обоснований	I	IV	0	14	1,167	0,188	0	2,632
5	Проверка расчётов и анализ необходимости оптимизации	Проверка расчётов и анализ необходимости оптимизации	I	IV	0	7	1,167	0,188	0	1,316

6	Оценка эффективности полученных результатов	Оценка эффективности полученных результатов	I	IV	0	2,6	1,167	0,188	0	0,4888
7	Оценка эффект. получ. рез-ов	Оценка эффект. получ. рез-ов	I	IV	2,6	2,6	1,167	0,188	3,0342	0,4888
8		Составление пояснительной записки	I	IV	0	3,2	1,167	0,188	0	0,6016
9	Проверка пояснительной записки и её защита	Проверка пояснительной записки и её защита	I	IV	1,8	2,6	1,167	0,188	2,1006	0,4888
Итого:									8,169	12,6786

Статья включает основную и дополнительную заработную плату работников:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (13 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_р,$$

где $Т_р$– продолжительность работ, раб. дн. (см. табл. 4);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_м \cdot М}{F_д},$$

где $З_м$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб. дней М = 10,4 месяца, 6-дневная неделя;

$F_д$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (см. табл. 8).

Таблица 8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Науч. рук.	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	76	76
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	49	58
Действительный годовой фонд рабочего времени	241	232

Месячный должностной оклад работника:

$$З_м = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_д) \cdot k_р,$$

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

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, соответствует 30% от $З_{тс}$;

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

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

Тарифная заработная плата $З_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки исполнителя $Т_{сi}$ = 10 тыс. руб. на тарифный коэффициент $k_т$ и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Вышеописанные расчёты сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$k_т$	$З_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_д$	$k_р$	$З_м$, руб	$З_{дн}$, руб.	$Т_р$, раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Науч. рук.	I	2,2	22000	0,3	0,2	1,3	42900	1939,826	6	11638,96
Студент	IV	1,128	11280	0,3	0,3	1,3	23462,4	1012,49	78,4	79379,22
									Итого $З_{осн}$	91098,55

Дополнительная заработная плата подсчитывается как:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0{,}13 \cdot 91098{,}55 = 11842{,}81 \text{ руб.},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

В результате изысканий по данному пункту были рассчитаны трудозатраты исполнителей, а также зарплаты, составившие 79379,22 рубля для студента и 11638,96 рублей для научного руководителя. Данные цифры являются довольно низкими за счёт малой зарплаты основного исполнителя (студента) за счёт чего достигается конкурентное преимущество.

4.2.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В этой статье учитываются установленные законодательством РФ обязательные отчисления в фонды: социального страхования, пенсионного и медицинского.

Величину отчислений определяет формула:

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Все результаты расчёта приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Науч. рук	11638,96	1512,97
Студент	79379,22	10319,30
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,28	
Итого:		
Исполнение собственное	28798,13	

В соответствии с ФЗ №212-ФЗ и на основании пункта 1 ст.58 размер отчислений для организаций, осуществляющих образовательную и научную деятельность, составляет 28%. Отчисления во внебюджетные фонды составили 28798,13 рублей. Данные расходы являются обязательными и напрямую зависят от размера заработной платы исполнителей.

4.2.4.4 Накладные расходы

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

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{нр};$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, накладные расходы на данные НТИ составляют32713,75 руб.

4.2.4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат НИР является базой создания бюджета проекта, при создании договора с заказчиком защищается научной организацией как нижний предел затрат на разработку. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в табл. 11.

Таблица 11 – Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Материальные затраты НТИ	72732	Пункт 2.4.1
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	91098,55	Пункт 2.4.2
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11832,27	Пункт 2.4.2
Отчисления во внебюджетные фонды	28798,13	Пункт 2.4.3
Накладные расходы	32713,75	Пункт 2.4.4
Бюджет затрат НТИ	237174,70	Сумма 1-6 статей

Итогом расчёта бюджета стала сумма равная 237174,70 рублей, основной статьёй расходов (38%) явились затраты по обеспечению заработной платы исполнителей. Однако при дальнейшей разработке проекта будет необходимо применение дорогостоящих натурных испытаний, что может кратно увеличить затраты.

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

4.3.1 Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. Для сравнения выберем уже упомянутый ГПА-32 «Ладога» как первоначальный заводской вариант, на базе которого ведется разработка.

Примем, что максимальная стоимость сопоставимых проектных работ 400 000 руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}} = \frac{\Phi_{\text{p}i}}{\Phi_{max}} = \frac{237174{,}70}{400000} = 0{,}59;$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{p}i}$ – стоимость i-го варианта исполнения, таблица 11;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения проекта.

Полученный интегральный показатель разработки является очень низким, что благоприятно сказывается на общей эффективности проекта, главным образом это было достигнуто за счёт невысокой стоимости труда исполнителей, а также использования современных методов автоматизации проектирования.

4.3.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта проектирования находится по формуле:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности сводится в таблицу 12.

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Модерн. исполнение	ГПА-32 «Ладога»
1. Эффективность работы	0,19	4	3
2. Надёжность	0,13	3	4
3. Безопасность	0,13	3	3
4. Габаритные размеры	0,11	3	2
5. Уровень шума	0,09	2	1
6. Простота эксплуатации	0,09	3	3
7. Возможность внедрения САУ	0,08	5	3
8. Свободная мощность	0,13	5	5
9. Удобство в эксплуатации	0,05	3	3
$I_{\text{р}-\text{исп}}$, ИТОГО:	1	5,89	5,13

Сравнительная оценка характеристик разрабатываемого и заводского объекта показывает превосходство новой разработки, так как разработка настоящего проекта велась с учётом анализа конструкции существующего ГПА, а также современных требований индустрии.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{испi.}}$)определяется по формуле:

$$I_{\text{исп.i}} = \frac{I_{\text{р-испi}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}}}.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($Э_{ср}$):

$$Э_{ср} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}}.$$

Результаты расчёта значений сводятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Модерн. исполнение	ГПА-32 «Ладога»
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,59	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5,89	5,13
3	Интегральный показатель эффективности	9,98	5,13
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,945	0,514

Сравнение интегральных показателей показало, что разрабатываемый вариант значительно превосходит заводское исполнение как по ресурсоэффективности, так и по интегральному показателю эффективности, так как разработка настоящего проекта велась с учётом анализа конструкции существующего ГПА, а также современных требований индустрии. Это означает что разрабатываемый вариант является перспективным для дальнейшей разработки.

4.4 Вывод

Данный раздел достиг цели проектирования и создания конкурентоспособной разработки путём решения задач по оценке коммерческого потенциала и перспективности проведения проекта, составлению плана работ, определению ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Были выявлены потенциальные потребители результатов исследований, а именно разработка может быть применена на крупных предприятиях, занимающихся транспортом природного газа или нефти, также возможно применение в сфере промышленной генерации тепла и электроэнергии.

Был проведён SWOT-анализ проекта, выявивший сильные и слабые стороны проекта, определены угрозы и возможности реализации проекта. Главной угрозой проекта является возможность внедрения на рынок зарубежных решений, что может в значительной степени снизить конкурентоспособность разработки. Главными возможностями проекта являются наличие постоянного спроса со стороны целевых потребителей, а также технологическое отставание конкурентов. В результате была выявлена высокая связь возможностей и сильных сторон проекта, определена стратегия дальнейшего развитие проекта.

Был разработан график проведения научного исследования, даны рекомендации по повышению результативности труда общее ожидаемое время необходимое для проведения работ составило 4 месяца.

Подсчёт затрат на разработку позволяет заключить, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе является заработная плата исполнителей: основная – 91098,55 руб. (55%), дополнительная – 11832,27 руб. (7%). На втором месте страховые взносы – 28798,13 руб. (17,4%). Затем идут накладные расходы – 21207,73 руб. (12,8%). Меньше всего средств уходит на материальные затраты – 12732 руб. (7,7%). Общий бюджет разработки составил 165668,68 руб.

В заключении был проведён анализ экономической и ресурсной эффективности проекта. Разрабатываемое исполнение не уступает существующему ни в ресурсной, ни в экономической эффективности, что достигается за счёт применения современных способов проектирования, повышающих эффективность труда, а как следствие понижающих стоимость разработки, а также за счёт изучения и внедрения многолетнего опыта разработок в этой сфере.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В работе отражен анализ возможности внесения изменений в конструкцию газотурбинного двигателя для привода различных машин. Областью применения является транспортировка природного газа по магистральному газопроводу, а пользователями – занимающиеся этим предприятия. В частности, работа направлена на расширение суммарной мощности компрессорных станций, находящихся в ведении ПАО «Газпром».

Раздел «Социальная ответственность» отражает правовые и организационные вопросы обеспечения производственной безопасности при эксплуатации объекта исследования, анализ опасных и вредных производственных факторов, существующих на компрессорной станции, обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работника, а также обеспечение безопасности экологии и мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

На компрессорной станции одновременно трудятся несколько десятков работников, однако в непосредственном контакте с эксплуатируемым объектом находится машинист компрессорного цеха. На его примере рассмотрим правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

На должность машиниста компрессорного цеха допускаются лица, достигшие 18 лет, преимущественно мужского пола, прошедшие предварительный медицинский осмотр и не имеющие противопоказаний к выполнению работы на этой должности, обученные и аттестованные в

специализированном учебном заведении и имеющие удостоверение на право обслуживания газоперекачивающего агрегата. Перед началом работ машинист обязан пройти вводный и первичный инструктажи на рабочем месте.[25]

Обязательной частью обеспечения безопасности производственного труда является проверка знаний машиниста, которая должна проводится не позднее одного месяца после назначения на должность, а затем с периодичностью, описанной стандартами организации.[25]

На компрессорной станции для сведения к нулю производственного травматизма и минимизации влияния вредных и опасных факторов машинист должен быть обеспечен следующими средствами:

- бесплатные выдачи рабочим и служащим спецодежды, спец. обуви и других средств индивидуальной защиты. Организация хранения, стирки, чистки, ремонта спецодежды и других средств индивидуальной защиты;
- обязательные и дополнительные компенсации и льготы за тяжелые работы и работы с вредными и опасными условиями труда;
- организация обязательных предварительных при поступлении на работу и периодических медицинских осмотров рабочих и служащих, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными или опасными условиями труда, а также на работах, связанных с движением транспорта.

Организационными мероприятиями по компоновке рабочей зоны, согласно ГОСТ 29328-92 будут являться: [14]

- выполнение работ в соответствии с требованиями инструкции по ремонту, общих требований к ремонтопригодности;
- возможность технического осмотра сборочных единиц и деталей в соответствии с регламентом технического обслуживания и ремонта без вскрытия других элементов, имеющих более длительный межремонтный ресурс;

- максимально-возможный визуальный и инструментальный контроль критических и наиболее ответственных элементов и узлов без разборки или при незначительной разборке.

Из-за вероятности возникновения взрыва или пожара в компрессорном цеху, на станции предусматриваются защитные мероприятия от воздействия огня и взрывов (экранирование, изолирование работающих агрегатов от рабочего места), системы датчиков, газоанализаторы, автоматические огнетушители, отсечение и сброс компримируемой среды, мгновенное отключение компрессорной станции от магистрального газопровода, а также системы аварийной вентиляции.

Немаловажную роль, для обеспечения требуемых норм труда, играет система отопления и вентиляции помещений топливного хозяйства и главного корпуса ГТУ, работающей на природном газе, дизельном и газотурбинном топливе, которую следует проектировать в соответствии с требованиями СНиП 2.04.05 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

5.2 Производственная безопасность

Таблица 1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы ГОСТ 12.0.003-2015	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	–	+	+	СанПиН 2.2.4.548-98[26] ГОСТ 12.4.123[12]
2. Превышение уровня шума	–	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96[27]

3.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	–	–	СНиП 23–05–95[29]
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	СНиП 11-37-76[28] ГОСТ 12.1.030-81[10]
5. Повышенный уровень общей вибрации	–	+	+	ГОСТ 12.1.012-90[9]
6. Падение твердых, сыпучих, жидких объектов на работающего	–	+	+	ГОСТ 12.3.009-76[11]

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

5.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата:

В турбинном цехе в результате технологического процесса возникает тепловое (инфракрасное) излучение от трубопроводной обвязки и защитных кожухов.

Время пребывания на рабочих местах при отклонении температуры воздуха от допустимых величин (см. табл.2) регламентирует СанПиН 2.2.4.548-98.

Таблица 2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для работ категории «IIа» согласно СанПиН 2.2.4.548-98[26].

Период года	Температура воздуха, ℃	Температура поверхностей, ℃	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19 – 21	18 – 22	60 – 40	0,2
Тёплый	20 – 22	19 – 23	60 – 40	0,2

На рабочих местах, связанных с выделением тепла, предусматриваются защитные мероприятия, согласно ГОСТ 12.4.123-83[12]:

- теплозащитные экраны в районе мест, где наблюдается сильное выделение тепла;
- тепловая изоляция (температура наружной поверхности не более 45°С);
- охлаждение теплоизлучающих поверхностей;
- сигнальная окраска трубопроводов (соответствует правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды);
- аэрация и воздушное душирование;
- спецодежда в соответствии с нормами;
- вентиляция.

В таблице 3 приведены допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников, в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-98[26].

Таблица 3 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела, работающих, от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м, не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

5.2.1.2 Превышение уровня шума:

Источниками шума ГТУ являются компрессор, турбины, камера сгорания.

Шум вредно влияет на здоровье и работоспособность людей и часто мешает нормальному ходу производственных процессов. Действие шума на человека зависит от частоты, интенсивности, длительности и других факторов. Продолжительный и сильный шум вызывает утомление и расстройство органов слуха и может постепенно привести к частичной потере слуха, а иногда и к полной глухоте. Повышенный шум отрицательно сказывается и на функциональном состоянии нервной системы человека.[33]

Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 установлены допустимые уровни звукового давления шума внутри производственных помещений при работе людей более четырех часов в смену не более 80 дБА.

Эффективными мерами по борьбе с высоким уровнем шума являются: размещение оборудования в изолированных помещениях; стены, примыкающие к помещениям с повышенным уровнем шума, возведенные из материалов, обеспечивающих необходимую изоляцию. Для защиты от шума окружающей территории на входном воздуховоде и выхлопном газоходе установлены глушители шума, обеспечивающие снижение звукового давления до санитарных норм. При нахождении обслуживающего

персонала вблизи работающей установки следует пользоваться противошумными наушниками и касками, носить которые возможно в течение 2-х часов. К индивидуальным средствам защиты от шума также относятся беруши. [27]

5.2.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны:

Для обеспечения нормальных условий работы все производственные, вспомогательные и бытовые помещения, а также проходы, проезды и определенные участки территории предприятия должны освещаться. Особое внимание должно уделяться освещению рабочих мест. Недостаточное освещение не только затрудняет работу и ведет к снижению производительности труда, но и может оказаться причиной несчастных случаев и профессиональных заболеваний глаз.

Значения нормативных данных освещенности рабочего места определяются по СНиП 23–05–95 «Естественное и искусственное освещение». В помещениях, где не хватает освещения, дополнительно устанавливают более мощные светильники.

В производственных помещениях в дневное время применяются естественное освещение, а в вечернее и ночное время – искусственное. Естественное освещение в производственных помещениях осуществляется через боковые окна. Искусственное освещение осуществляется с помощью осветительных приборов. Для освещения используются наиболее экономичные разрядные лампы. Рабочая освещенность должна составлять 300 лк.[30]

5.2.1.4 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека:

Источником электрической опасности на газотурбинной установке является генератор. Турбинный цех относится к классу помещений особо опасных, т.к. в нем находится много металлоконструкций, и имеются токопроводящие полы.

Коснувшись проводника, который находится под напряжением, человек становится частью электросети, по которой начинает протекать электрический ток. Электрический ток проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий: [28]

- Термическое действие тока подразумевает появление на теле различных ожогов, перегревание кровеносных сосудов и нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока;
- Электролитическое действие проявляется в расщепление крови и иной органической жидкости в тканях организма, вызывая существенные изменения ее физико-химического состава;
- Биологическое действие вызывает нарушение нормальной работы мышечной системы. Возникают непроизвольные судорожные сокращения мышц, оказывается влияние на органы дыхания и кровообращения, такие как легкие и сердце. Это может привести к нарушению их нормальной работы, в том числе и к полному прекращению их функциональности.

Согласно СНиП 11-37-76 для металлических частей электрооборудования и электроустановок, не находящихся под напряжением, должна быть предусмотрена такая защитная мера, как заземление. Так же заземление должно удовлетворять ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление».

Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок предусмотрено также защитное зануление для защиты человека от поражения электрическим током. При занулении предъявляются жесткие требования к предохранителям. Время их срабатывания должно быть менее 0,1 с. К нулевому проводу предъявляются следующие требования:

- запрещается подключать какие-либо приборы;
- нулевой провод многократно заземлен.

Защитно заземлены и занулены металлические части электроустановки (корпус генератора электрического тока, турбины), доступные для прикосновения человека и не имеющие других видов защиты. Чтобы исключить возможность прикосновения или опасного приближения к неизолированным токоведущим частям, обеспечена их недоступность посредством ограждений, а также расположения токоведущих частей на недоступной высоте и в недоступном месте.[29]

5.2.1.5 Повышенный уровень общей вибрации:

При работе газотурбинной установки практически все узлы, детали и агрегаты создают колебания. В результате этого возникают различные виды вибрации, которые объясняются причинами механического и газодинамического характера. Вибрация передаётся через опорные поверхности на тело сидящего и стоящего человека.

Нормы вибрации установлены стандартом ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность. Общие требования». По санитарным нормам помещение с турбинным оборудованием отнесено к категории «технологическая 3а», которая находится на границе снижения производительности труда. Для помещения данной категории уровень вибрации не должен превышать 92 дБ.

Защиту от вибрации можно условно разделить на:[2]

- Активная – мероприятия, направленные на уменьшение и недопущения колебаний вращающихся частей, при помощи центровки роторов, различной балансировки, технического обслуживания подшипниковых узлов;
- Пассивная – мероприятия, направленные на изоляцию рабочего места от источников колебаний (установка машины на железобетонном сборно-монолитном рамном фундаменте, отстройка рабочего места от турбинного цеха и пр.).

Все перечисленные меры защиты от вибрации применяются для всех без исключения ГПА.

5.2.1.6 Падение твердых, сыпучих, жидких объектов на работающего:

Как во время производства, так и во время эксплуатации газотурбинной установки необходимо применение механизмов для перемещения частей агрегатов (подъемно-транспортное оборудование), из чего следует опасность падения различных предметов.

Нормы погрузочно-разгрузочных работ установлены стандартом ГОСТ 12.3.009-76 «Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности» [10]. При наличии опасности падения предметов сверху работающие на местах производства погрузочно-разгрузочных работ должны носить защитные каски установленных стандартом образцов. Средства индивидуальной защиты должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.011-89 на средства защиты конкретных видов.

Также к управлению подъемно-транспортным оборудованием допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в порядке, установленном Минздравом РФ, обученные безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90 и имеющие право управления указанным оборудованием.

5.3 Экологическая безопасность

При работе газотурбинной установки в атмосферу выбрасываются вредные вещества такие как: оксиды азота NO и NO_2, оксид углерода CO, образовавшиеся в результате неполного сгорания углеводороды, оксид серы SO_2 и SO_3 и твердые частицы.

В ГТУ осуществляется непрерывное совершенствование камер сгорания: снижают эмиссию вредных веществ путем разработки системы предварительного смешения топлива с воздухом в КС для создания обедненных смесей в сочетании с системой каталитического горения,

удаляют азот из воздуха и сжигают топливо в среде, обогащенной кислородом. Выхлопное устройство ГТУ (включая дымовую трубу) должно обеспечивать рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере до уровня допустимых концентраций как для рабочей зоны, так и близлежащих населенных пунктов. Высота дымовой трубы обычно 12 – 25 м.

При эксплуатации ГТУ также происходит загрязнение сточных вод. Причинами загрязнения сточных вод являются: периодическая промывка компрессора, отработавшая вода из систем охлаждения, система канализации и система водоочистки.

Состав перечисленных стоков зависит от типа ГПА и их количества, его вспомогательного оборудования, мощности ГТУ, химических параметров используемой воды.

Предельно допустимые концентрации основных вредных веществ в сточной воде, согласно ГН 2.1.5.1315-03, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения предельно допустимых концентраций вредных веществ [11]

Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м^3	Класс опасности
Аммиак	NH_3	1,5	4
Ванадий	V	0,1	3
Гидразин	N_2H_4	0,01	2
Железо	Fe	0,3	3
Мышьяк	As	0,01	1
Ртуть	Hg	0,0005	1
Свинец	Pb	0,01	2

Используемыми методами очистки сточных вод на компрессорной станции являются: отстойники и ввод химических реагентов.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Основные типы ЧС при работе компрессорной станции:

- пожар с тепловым воздействием на окружающие объекты и людей;
- взрыв с ударным воздействием на окружающие объекты и людей;
- утечка газов, обладающих токсическим воздействием на людей.

Вследствие того, что природный газ является основным рабочим телом на компрессорной станции, а также используется для сжигания в камерах сгорания ГТУ, наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией на КС является пожар.

Причиной возникновения пожара может стать:

- Неисправности в маслопроводах, приводящие к утечкам и возгораниям масла;
- Механические повреждения газопроводов обвязки; попадание внутрь агрегатов посторонних предметов;
- Утечки пожаро- и взрывоопасных сред через негерметичные соединения;
- Нарушения производственных инструкций и инструкций пожарной безопасности работниками предприятий.

При нормальных условия работы ГТУ концентрация газа в помещении не является взрывоопасной, но при аварийной ситуации концентрация газа может достигнуть взрывоопасного значения.

- НПВ (нижний предел взрываемости) природного газа – 4%;
- ВПВ (верхний предел взрываемости) природного газа – 16%.

Требования по обеспечению пожарной безопасности ГТУ должны соответствовать СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений». Пожарная безопасность турбинного цеха обеспечивается подбором и компоновкой огнестойких строительных конструкций, и подбором системы пожаротушения. Успех быстрой локализации и ликвидации пожара в его начальной стадии зависит от имеющихся соответствующих средств пожаротушения, умение персонала пользоваться

ими, а также средствами пожарной сигнализации. Для обнаружения природного газа вводится система анализа воздуха, автоматически включающая аварийную систему вентиляции при обнаружении газа. Одновременно подается звуковой и световой сигнал о наличие утечки метана. В случаях утечки метана или возникновения пожара ГТУ немедленно останавливается. В наиболее опасных в пожарном отношении местах устанавливаются пенные огнетушители ОХП-10 и углекислотные ОУ-8, которые используются для тушения небольших пожаров.

5.5 Вывод

В результате работы над разделом «Социальная ответственность» были отражены особенности правовых и организационных вопросов обеспечения безопасности работника, работающего на компрессорной станции, выявлены и проанализированы опасные и вредные факторы, с которыми может столкнуться человек при проектировании, изготовлении и эксплуатации газотурбинной установки, оценена экологическая опасность и пути к её минимизации, описаны возможные чрезвычайные ситуации на компрессорной станции и средства по их недопущению и ликвидации.

Так же в ходе работы были выделены факторы, оказывающие негативное влияние как на людей, так и на окружающую среду в целом. К таким источникам относят изменения микроклимата, повышенный уровень шума, вибрационное воздействие, отсутствие или недостаточность естественного освещения и т.д. Проведен анализ нормативной документации, на основании которой были сформулированы требования к рабочему месту, а также права и обязанности работника.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы была проанализирована конструкция газоперекачивающего агрегата ГПА-32 «Ладога», газотурбинного двигателя MS5002E, а также их основные узлы. В результате был сделан вывод о том, что конструкция ГТД агрегата в целом является удачной. Однако двигатель не лишен недостатков, один из которых – высокий расход масла, необходимый для отвода тепла от подшипникового узла.

В ходе анализа данной проблемы была выявлена основная причина данного процесса: подшипниковый узел №2 конструктивно расположен под камерами сгорания ГТД, температура в которых влияет на нагрев данного подшипникового узла. В результате этого узел находится под повышенным температурным воздействием, вследствие чего требует дополнительного отвода тепла для нормального выполнения своих функций.

В результате было предложено одно из возможных решений проблемы: перенос подшипникового узла из-под камер сгорания под последние ступени нагнетателя, чтобы увеличить расстояние между данным подшипниковым узлом и камерами и таким образом уменьшить влияние высоких температур. Также, необходимо соответственно изменить систему воздушного охлаждения подшипника.

Если данные меры окажется удачными и удастся существенно снизить нагрев ПУ, то целесообразно рассмотреть переход от обычных масляных подшипников скольжения на «сухие» магнитные подвесы и систему газодинамических уплотнений вместо масляных уплотнений. Данная замена позволит значительно упростить конструкцию газотурбинного двигателя, повысит его надежность, упростит обслуживание и ремонт, а также позволит упразднить одну из дополнительных систем ГТД – систему маслоснабжения, позволив создать полностью «сухой» двигатель.

При выполнении дипломной работы были выполнены необходимые расчеты, учтены требования по охране окружающей среды, охране труда и безопасности жизнедеятельности, а также проведен экономический анализ работы.

Следовательно, проведение подобных модернизаций существующих ГТД позволит как значительно повысить эксплуатационные свойства газотурбинного двигателя, так и снизить затраты на его ремонт и обслуживание.

Рассматриваемый в данной работе метод модернизации может быть применен как к ГПА-32 «Ладога», так и к другим ГПА с учетом их конструктивных особенностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АО "РЭП Холдинг". Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.reph.ru/, свободный – Загл. с тит. экрана (дата обращения: (24.04.2020);
2. Безопасность жизнедеятельности : Учебное пособие / Под редакцией Н.Н. Гребневой. Тюмень : Изд-во ТюмГУ, 2012. 320 с.;
3. Газоперекачивающие агрегаты РПО «Искра» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.npoiskra.ru/catalog/gazoperekachivayushchie-agregaty/, свободный – Загл. с тит. экрана (дата обращения: (24.04.2020);
4. ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЙ АГРЕГАТ ГПА-32 «ЛАДОГА» [Электронный ресурс] /. — Электрон. текстовые дан. — Режим доступа: https://www.reph.ru/production/type/30/211/, свободный
5. ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»;
6. ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»;
7. ГОСТ 11607-82. Корпуса подшипников скольжения разъемные с двумя крепежными отверстиями. Конструкция и размеры. — взамен ГОСТ 11607-65; введ. 1983-07-01. — Москва: Издательство стандартов, 1994. — 5с.;
8. ГОСТ 11608-82. Корпуса подшипников скольжения разъемные с четырьмя крепежными отверстиями. Конструкция и размеры. — взамен ГОСТ 11607-65; введ. 1983-07-01. — Москва: Издательство стандартов, 1994. — 5с.;
9. ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность. Общие требования»;

10. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. «Электробезопасность. Защитное заземление»;

11. ГОСТ 12.3.009-76 «Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности»;

12. ГОСТ 12.4.123-83 ССБТ «Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования»;

13. ГОСТ 27672-88 Подшипники скольжения. Втулки свертные. Размеры, допуски и методы контроля Корпуса подшипников скольжения разъемные с двумя крепежными отверстиями. Конструкция и размеры. — Москва: Издательство стандартов, 1988. — 11с.;

14. ГОСТ 29328-92 «УСТАНОВКИ ГАЗОТУРБИННЫЕ ДЛЯ ПРИВОДА ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ»;

15. ГОСТ ИСО 7902-1-2001; введ. 2002 – 07 – 01. — Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. — 11с.;

16. ГОСТ ИСО 7902-2-2001; введ. 2002 – 07 – 01. — Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. — 11с.;

17. ГОСТ ИСО 7902-3-2001; введ. 2002 – 07 – 01. — Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. — 11с.;

18. ГПА-Ц-25НК ОАО «ОДК-Газовые турбины». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://odk-gt.ru/index.php/ru/gazoperekachivayuschee-oborudovanie-2/gpa-25, свободный – Загл. с тит. экрана (дата обращения: (24.04.2020);

19. КОМПРЕССОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ [Электронный ресурс] /. — http://www.npoiskra.ru/catalog/kompressornoe-oborudovanie/ Электрон. текстовые дан. — Режим доступа: , свободный.

20. ПАО НПО «Искра» [Электронный ресурс] /. — Электрон. текстовые дан. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/НПО_«Искра», свободный;

21. Петров, Н.П. Гидродинамическая теория смазки. - М. СПБ.: Гос. технико-теоретическое издательство, 1934. - 578 с.;

22. Повышение эффективности газоперекачивающих агрегатов: проблемы и решения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://vestnikmach.ru/articles/1302/eng/1302.pdf , свободный – Загл. с тит. экрана (дата обращения: (24.04.2020);

23. Магнитный подшипник [Электронный ресурс] /. — Электрон. текстовые дан. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитный_подшипник, свободный;

24. Портал трубопроводной литературы Armtorg.ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://armtorg.ru/news/11332/ , свободный – Загл. с тит. экрана (дата обращения: (24.04.2020);

25. РД 34.03.252-93 «ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ДЛЯ МАШИНИСТА КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ»;

26. СанПиН 2.2.4.548-98 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;

27. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. 2.1.8. Физические факторы окружающей природной среды. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. — Москва: Экологический вестник России, 1996. — 18с.;

28. СНиП 11-37-76 Газоснабжение. Внутренние и наружные устройства [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 1977. – 87 с.;

29. СНиП 23–05–95 «ЕСТЕСТВЕННОЕ И ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ»;

30. СП 51.13330.2011 «ЗАЩИТА ОТ ШУМА»;

31. Усовершенствование системы подогрева циклового воздуха ГПА-32 "Ладога". [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=30508723, свободный – Загл. с тит. экрана (дата обращения: (24.04.2020);

32. Центробежные нагнетатели (ЦБН) 220-11-1СМП, 200-21-1СМП, 300-21-1СМП и 320-31-1СМП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.reph.ru/production/type/115/716/, свободный – Загл. с тит. экрана (дата обращения: (24.04.2020);

33. Шишелова Т.И., Малыгина Ю.С., Нгуен Суан Дат ВЛИЯНИЕ ШУМА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 8. – С. 14-15.