

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

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
Отделение нефтегазового дела

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Расчёт параметров турбодетандера

УДК 621.592.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Е41	Андреев Р.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зиякаев Г.Р.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Трубникова Н.В.	д.и.н., доц.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООТД ШБИП ТПУ	Черемискина М.С.	Ассистент ООТД ШБИП ТПУ		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев К.К.	к.ф.-м. н.		

Планируемые результаты обучения ООП

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Общекультурные компетенции		
P1	Способность применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук для обеспечения полноценной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1; ОК-9; ОК-10)1, Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.	Требования ФГОС (ОК-7; ОК-11; ОК -13; ОК-14, ОК-15), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2, п. 5.2.8 , п. 5.2.10), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.	Требования ФГОС (ОК -5; ОК -6; ОК -8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.16), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, уметь проявлять личную ответственность.	Требования ФГОС (ОК-4; ПК-9; ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на нефтегазовых производствах.	Требования ФГОС (ОК-2; ОК-3; ОК-5; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.12; п. 5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на предприятиях машиностроительного, нефтегазового комплекса и в отраслевых научных организациях.	Требования ФГОС (ОК-14; ОК-15; ОК-16), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Профессиональные компетенции		
P7	Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в нефтегазовой отрасли, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования машиностроительной продукции.	Требования ФГОС (ПК-7; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Умение обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроительного производства, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов, деталей и конструкций	Требования ФГОС (ПК-1; ПК-3; ПК-26), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.5; п. 5.2.7; п. 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Способность осваивать вводимое новое оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, в случае необходимости обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.	Требования ФГОС (ПК-2; ПК-4; ПК-16), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7, п. 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Умение проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов, применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий.	Требования ФГОС (ПК-18), Критерий 5 АИОР (п.5.2.4, п. 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Умение проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации	Требования ФГОС (ПК-6; ПК-12; ПК-14; ПК-15; ПК-24), Критерий 5 АИОР (п.5.2.3; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных

	технологического оборудования при изготовлении изделий нефтегазового производства.	стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Умение применять стандартные методы расчета деталей и узлов машиностроительных изделий и конструкций, выполнять проектно-конструкторские работы и оформлять проектную и технологическую документацию соответственно стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования.	Требования ФГОС (ПК-21; ПК-22; ПК-23), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.9), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P13	Готовность составлять техническую документацию, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.	Требования ФГОС (ПК-11; ПК-13), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7; п. 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P14	Способность участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований.	Требования ФГОС (ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-25), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4; п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P15	Умение применять современные методы для разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий, умение применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов в нефтегазовом производстве.	Требования ФГОС (ПК-8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.8; п. 5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
З-4Е41	Андрееву Роману Викторовичу

Тема работы:

«Расчёт параметров турбодетандера»

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№1007/с от 08.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:

17.05.2019

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.).	Объект исследования - установка комплексной подготовки газа и конденсата на Казанском НГКМ. Главной задачей УКПГ является подготовка природного газа до соответствия требованиям СТО Газпром 089–2010 «Газ горючий природный». В составе сооружений УКПГиК предусмотрена одна установка подготовки газа (УПГ), одна установка подготовки стабильного конденсата и пропан-бутана технического (УСК). Товарной продукцией УКПГиК является осушенный газ (ГО), стабильный газовый конденсат (СК) и пропан-бутан технический (ПБТ).
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,	1. Провести аналитический обзор по выбранной тематике. 2. Проанализировать конструкцию и принцип работы газотурбинного агрегата. 3. Рассмотреть топливную систему газотурбинного агрегата. 4. Выполнить технологические расчеты, которые позволят определить: стехиометрический коэффициент, удельный расход топливного газа, процесс горения топлива.

подлежащих разработке; заключение по работе).	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Создать новые принципиальные технологические схемы с использованием турбодетандеров в системе распределения природного газа на УКПГиК.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Трубникова Н.В.
«Социальная ответственность»	Черемискина М.С.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зиякаев Г.Р.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Е41	Андреев Роман Викторович		

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

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
Уровень образования – бакалавриат
Отделение нефтегазового дела
Период выполнения – весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.12.2018	Введение	10
10.02.2019	Обзорная часть	15
12.03.2019	Расчётная часть	25
17.04.2019	Социальная ответственность	20
25.04.2019	Финансовый менеджмент	15
30.04.2019	Заключение	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зиякаев Г.Р.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев К.К.	к.ф.-м. н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 93 страницы, 23 таблицы, 7 рисунков, 41 источник.

Ключевые слова: установка комплексной подготовки газа, турбодетандер, газ, низкотемпературная сепарация, турбина.

Объект исследования – термогазодинамические процессы, происходящие в схемах подготовки и транспортировки природного газа, в том числе и в проточной части турбодетандеров.

Предмет исследования – усовершенствование рабочих процессов и конструкции турбодетандерных установок с целью увеличения показателей их эффективности в широком диапазоне режимов в разных условиях использования.

Целью работы является повышение энергоэффективности системы газоснабжения на основе совершенствования энергохолодильных и криогенных технологий на базе детандер-генераторных агрегатов.

Термины и определения

Список сокращений:

КНГКМ – Казанское нефтегазоконденсатное месторождение

ТДА – турбодетандерные агрегаты

НТС – низкотемпературной сепарации

УКПГ – установка комплексной подготовки газа

ГПА – газоперекачивающие агрегаты

ГРС – газораспределительные станции

НКТ – низкотемпературной конденсации

ВК – входной коллектор

ГПЗ – газоперерабатывающий завод

РК – рабочее колесо

ПСА – поворотный сопловой аппарат

УТДУ – утилизационными турбодетандерными установками

ДГА – детандер-генераторными агрегатами

ТО – теплообменник

УСК – установка подготовки стабильного конденсата

ПТБ – пропан-бутан технический

КИП и А – контрольно-измерительные приборы и автоматизация

БЕ – буферная ёмкость

Склад ГСМ – склад горюче-смазочных материалов

Оглавление

Введение.....	12
1 Обзор литературы	14
2 Общая информация о турбодетандерных установках.....	17
2.1 Принципиальная схема турбодетандерной установки.....	20
3 Объект и методы исследования	22
3.1 Технологическая характеристика объекта исследования	22
3.2 Описание технологического процесса на УКПГиК Казанского НГКМ ..	26
3.3 Установка подготовки газа.....	27
4 Расчеты и аналитика	31
5 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	53
5.1 Потенциальные потребители результатов исследований	53
5.2 Анализ конкурентных технических решений	54
5.3 Технологии QuaD	55
5.4 SWOT-анализ.....	56
5.5 Планирование научно-исследовательских работ.....	58
5.5.1 Структура работ в рамках научного исследования	58
5.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ	58
5.5.3 Разработка графика проведения научного исследования	60
5.6 Бюджет научно-технического исследования	62
5.6.1 Расчет материальных затрат	62
5.6.2 Основная заработная плата исполнителей	63
5.6.3 Дополнительная заработная плата исполнителей	66
5.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды	67
5.6.5 Накладные расходы.....	68
5.6.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	68
5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	69

6 Социальная ответственность.....	76
6.1 Производственная безопасность.....	77
6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	77
6.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве	82
6.2 Экологическая безопасность.....	83
6.2.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу.....	83
6.2.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу	84
6.2.3 Анализ воздействия объекта на литосферу	84
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	85
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	86
6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	86
Заключение	88
Список использованных источников	90

Введение

В последние годы мировая экономика характеризуется увеличением потребления полезных ископаемых, что привело к повышенному спросу на энергосберегающие технологии для нефтегазовой промышленности. На территории России сосредоточены более 30% мировых запасов газа. Газодобывающая отрасль в России ежегодно развивается. К 2025 году запланировано увеличение объемов добываемого газа в 2 раза, наибольший вклад в добычу природного газа вносят районы Крайнего Севера и районы, приравненные к ним.

Важной задачей в условиях Крайнего Севера после добычи природного газа является его подготовка. На рассматриваемом Казанском газоконденсатном месторождении подготовка газа осуществляется на установке комплексной подготовки газа (УКПГ) путем низкотемпературной сепарации. Процесс подготовки газа необходим для обеспечения заданной температуры точки росы газа по влаге и по углеводородам, а также для удаления различных примесей, затем для дальнейшей отправки газа потребителю через магистральный газопровод. Также для районов Крайнего Севера при сборе и подготовке газа важной задачей является предупреждения гидратообразования. На данном месторождении в качестве ингибитора гидратообразования используется метанол.

Основоположником использования турбодетандеров в технологии переработки газов является академик Капица П.Л. Огромный вклад в развитие технологических схем добычи и транспортирования природного газа и усовершенствование конструкций турбодетандерных установок внесли Язык А.В., Епифанова В.И., Степанец А.А., Мальханов О.В. и др. В то же время для увеличения эффективности работы газодобывающих и газотранспортных комплексов целый ряд проблемных вопросов, таких как:

- увеличение качества природного газа, который подаётся в магистральный газопровод;

– выработка электроэнергии за счет потенциальной энергии сжатого газа и другие, требуют совершенных решений.

Турбодетандеры – это турбомашин, у которых за счет расширения газообразного рабочего тела (природного газа) вырабатывается механическая энергия. Их использование позволяет увеличить эффективность работы газового комплекса за счет повышения качества природного газа, а также выработки дополнительной электроэнергии.

Получение высоких показателей эффективности схем подготовки газа с использованием турбодетандеров новых конструкций основывается на учете реальных свойств природного газа и переменных режимов работы газовых комплексов. Важную роль при разработке высокоэффективных турбодетандеров играет выбор рациональных форм проточной части, профилей лопаточных аппаратов и учет особенностей их эксплуатации в разных условиях.

Таким образом, актуальность работы по созданию энергосберегающих технологий с использованием турбодетандеров как за счет увеличения эффективности технологических схем подготовки газа, так и внедрения новых, более совершенных конструкций проточных частей этих машин, обусловлена достижением существенного экономического эффекта.

Цель работы:

- определить основные геометрические и режимные параметры турбодетандера;
- температуру рабочего вещества при выходе из турбодетандера;
- коэффициент полезного действия турбодетандера;
- мощность турбодетандера

В рамках работы необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть технологическую схему УКПГ КНГКМ;
- проанализировать конструкцию и принцип работы ТДА.

1 Обзор литературы

Впервые турбодетандеры начали применяться в схемах для получения сжиженного кислорода из воздуха. Идея получения кислорода из воздуха с помощью турбомашин (турбодетандера) была предложена Д. Рэлеем в 1898 г. Но ее реализация оказалась настолько трудной, что только в начале 30-х годов немецкой фирме «Сюрт» удалось (по заказу фирмы «Ленде») сделать надежно работающий турбодетандер. Но его КПД, несмотря на все усилия конструкторов, не превышал 0,62...0,65. За короткий срок 2 года П.Н. Капица с блеском решил задачу, создав новую конструкцию турбодетандера, настолько эффективную, что она обеспечила революцию в криогенной технике. Уже в 1938 г. в Институте физических проблем был создан небольшой опытный турбодетандер, показавший феноменальный для такой машины КПД $\sim 80\%$ [22].

В газовой промышленности турбодетандеры начали применяться с 1965 г. в схемах низкотемпературной конденсации (НТК), которая стала наиболее распространенной при обработке газов, содержащих конденсат. Промысловые установки, предназначенные для извлечения из газа тяжелых углеводородов процессом НТК, обычно называют установками низкотемпературной сепарации (НТС).

Использование турбодетандеров в установках НТС газа было предложено работниками института ВНИИГаз А.И. Арутюновым, В.И. Ивановым, В.А. Динковой, П.И. Барабановой в 1962 г. ВНИИГаз, ЮжНИИГипрогаз совместно с МВТУ им. Н.Э. Баумана разработали конструкцию опытного образца турбодетандера-компрессора (турбокомпрессора) и испытали его в 1965 г. на ГП № 7 Шебелинского ГКМ. УкрНИИГаз в 1967 г. разработал проект опытного турбокомпрессора Т-3, который был изготовлен СКБ по компрессоростроению в 1968 г.

ТДА Т-3 состоял из корпуса, ротора, регулируемого соплового аппарата турбодетандера и направляющего аппарата компрессора с

резьбोरычажным механизмом поворота. В агрегате применен одноступенчатый осевой турбодетандер, а в качестве нагрузки турбодетандера - одноступенчатый центробежный компрессор с лопаточным диффузором.

Ротор агрегата двухпорный с консольным расположением рабочих колес турбодетандера и компрессора. В качестве опор использовались подшипники качения, которые смазывались маслом, подаваемым через форсунки за счет разности давлений в масляном баке и картере машины. Агрегат герметичен и не требует электроэнергии во время работы. Газ утечек попадает через уплотнения на рабочих колесах в картер агрегата, оттуда с отработанным маслом – в масляный бак, из которого, освободившись от масла, попадает на вход в компрессор. Масса агрегата ~1,9 т, основные размеры 1550x750x725 мм. Агрегат рассчитан на работу в промышленных установках природного газа при температурах сепарации до 223 К (-50 °С) в диапазоне рабочих давлений от 8,0 до 0,2-0,3 МПа. Пропускную способность агрегата с помощью поворотного соплового аппарата (ПСА) турбодетандера можно плавно регулировать от 2 до 4 млн.м³/сут. при давлении 6,4 МПа. Максимальная холодопроизводительность агрегата при давлении 8,0 МПа и температуре 247 К (-26 °С) равна 4,1868 млн.кДж/ч (1163 кВт). На эксплуатационных режимах частота вращения ротора изменяется от 5 до 8 тыс.об/мин, максимальная - 11 тыс.об/мин. Система автоматики позволяет контролировать в процессе эксплуатации следующие параметры: частоту вращения ротора, давление газа на входе в турбодетандер, температуру сепарации газа, уровень масла в маслобаках, температуру подшипников, а также запуск и остановку агрегата при повышении числа оборотов ротора.

Первая опытно-промышленная установка НТС с турбокомпрессором Т-3 (проект ГИПРОГаза), построена и принята в эксплуатацию в феврале 1971 г. на ГП № 6/11 Шебелинского ГKM [23]. В разработке, производстве и внедрении ТДА на ГKM стран СНГ ведущая роль принадлежит ПАО "Турбогаз" г. Харьков (ранее ВНПО "Союзтурбогаз").

Практика использования ТДА на различных месторождениях показала, что турбохолодильные установки на его основе отличаются простотой, надежностью и низкой металлоемкостью конструкции, обуславливают минимальное количество обслуживающего персонала, высокую автономность и широкий диапазон регулирования, а также отсутствие вредного воздействия на окружающую среду.

В настоящее время остро стоит проблема создания и производства новых перспективных конструкций ТДА. Решение этой проблемы особенно актуально в связи с вводом в строй новых месторождений газа, стремлением внедрять энергосберегающие технические решения. Несмотря на устойчивую тенденцию экономии природного газа, опубликованные прогнозы свидетельствуют, что к 2030 году потребление газа в мире может удвоиться, а межрегиональные поставки утроиться. По данным ВНИИгаза потребность в промышленных ТДА до 2020 года с учетом резерва оценивается в 220-270 штук [24].

2 Общая информация о турбодетандерных установках

Турбодетандерами называются турбомашин, используемые для расширения газов. Название турбодетандер состоит из двух слов «турбина» - лопаточный двигатель, преобразующий энергию потока рабочей среды в механическую, и «детандер» происходит от французского слова *detendre* – расширять сжатое. Отличие турбины от турбодетандера заключается в том, что основное назначение турбины это выработка механической энергии, а основное назначение турбодетандера это производство холода [25].

На рисунке 1 представлен общий вид турбодетандера.

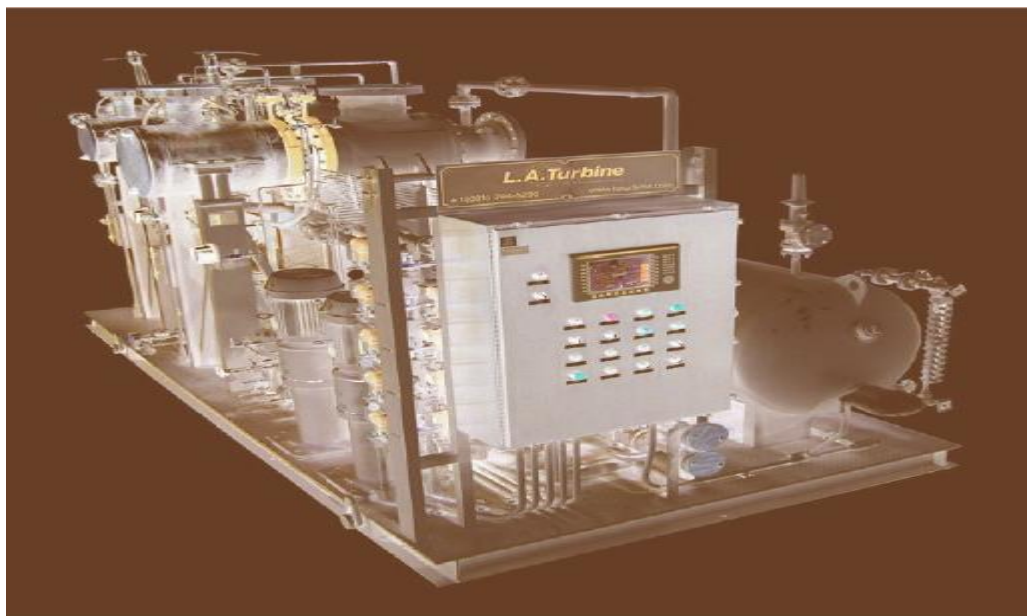


Рисунок 1 – Общий вид турбодетандера

Установки, которые за счет расширения природного газа вырабатывают механическую энергию и служат приводом электрогенератора, называются утилизационными турбодетандерными установками (УТДУ) или детандер-генераторными агрегатами (ДГА) [26]. Турбодетандерные установки, которые вырабатывают холод и которые служат приводом компрессора, называются турбодетандерными агрегатами (ТДА). УТДУ используют излишек давления газа для выработки электроэнергии на газораспределительных станциях или

газораспределительных пунктах, а ТДА используют в различных схемах охлаждения, очистки, осушки и сепарации низкокипящих углеводородов из природного газа.

В газовой промышленности турбодетандеры используются для:

1) пуска газотурбинной установки газоперекачивающего агрегата (ГПА), а также для проворачивания ее ротора при останове (с целью его охлаждения). При этом турбодетандер работает на транспортируемом газе [27];

2) охлаждения природного газа (при его расширении в турбине) в установках его сжижения [28];

3) охлаждения природного газа в установках при «промысловой» подготовке для транспорта по трубопроводной системе (удаление влаги путем ее вымораживания и т.п.) [29];

4) привода компрессора высокого давления с целью подачи газа в подземные хранилища;

5) выработки электроэнергии на газораспределительных станциях (ГРС) системы транспорта природного газа к его потребителям с использованием в турбине перепада давлений газа между трубопроводами высокого и низкого давления.

В настоящее время уже достаточно хорошо изучены как вопросы создания технологических схем с применением турбодетандеров и аэродинамические закономерности, используемые при их проектированию и эксплуатации, однако еще остается немало вопросов, которые требуют дополнительных исследований [30].

В виду индивидуальности физических параметров, компонентных составов и расходов природного газа каждого месторождения или ГРС, часто приходится разрабатывать технологические схемы и проектировать новую проточную часть, вводя новые поправочные коэффициенты, создавая новые методики расчета потерь и других параметров. Другими словами, приходится выполнять дополнительные исследования, необходимые для

получения достоверной информации о работе агрегата, особенно, если турбина работает в области конденсации некоторых фракций природного газа. Соответственно, вновь спроектированные проточные части всегда требуют доводки после испытаний на натурном газе с натурными параметрами.

На сегодняшний день, по-прежнему, основным методом изучения и доводки турбодетандеров является физический эксперимент. Однако, в турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования последние годы с ростом возможностей вычислительной техники заметно увеличилась степень отработки конструкций проточных частей турбодетандеров с использованием численных экспериментов.

Численный эксперимент часто предполагает проведение расчетов с использованием методов конечных элементов, но из-за высоких требований к ресурсам персонального компьютера (ПК) не всегда удается провести его достоверно. В связи с этим параллельно развивался метод псевдо 3D расчета, реализуемый на базе системы эмпирических уравнений и зависимостей. Этот вариант расчета не такой информативный по сравнению с расчетом методом конечных элементов, но позволяет достаточно быстро провести оценку показателей работы турбомашины с допустимой точностью и при этом не требует мощного ПК и больших временных затрат.

В настоящее время большое число работ как в нашей стране, так и зарубежных, посвящено исследованию аэродинамических процессов в турбодетандерах с использованием численного эксперимента, разработке и развитию моделей вычислительной газодинамики.

Среди коллективов и организаций, работающих в этом направлении в нашей стране и зарубежом, можно выделить – ПАО «Турбогаз», г. Харьков, ЛПИ, г. Санкт-Петербург, (М.Х. Стрелец, Е.М. Смирнов, Ю.Б. Галеркин), ОАО «Криокор», г. Москва, ОАО «Турбохолод», г. Москва, «Siemens», Германия, «Atlas Copco», Швеция, «Cryostar S.A.S.», Франция и др.

2.1 Принципиальная схема турбодетандерной установки

Одна из наиболее распространённых схем установки НТС с турбодетандером, предназначенным для сжижения низкокипящих углеводородов природного газа, приведена на рисунке 2:

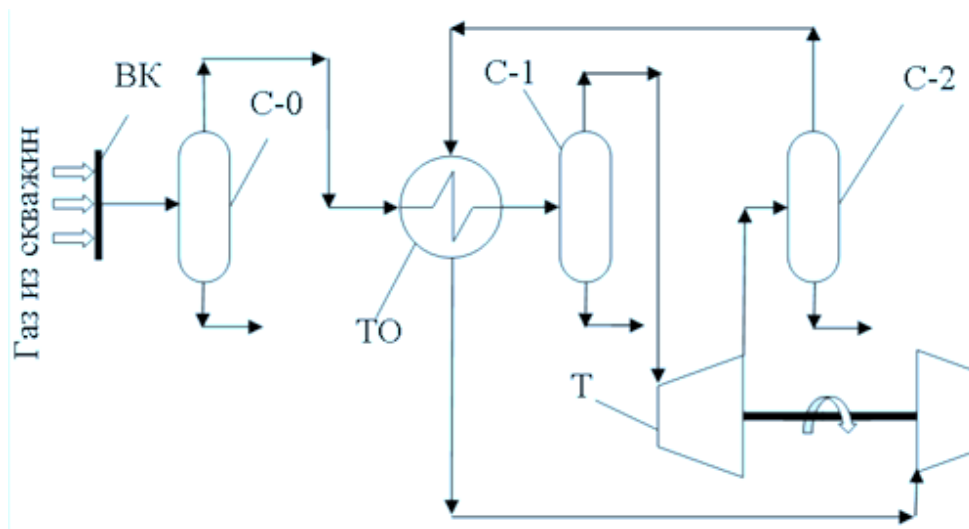


Рисунок 2 – Принципиальная схема турбодетандерного агрегата для сжижения низкокипящих углеводородов природного газа:

ВК – входной коллектор; С-0, С-1, С-2 – сепараторы предварительной, вторичной очистки и низкотемпературный; ТО – рекуперативный теплообменник; Т – турбина турбодетандерного агрегата; К – компрессор.

Принцип работы этой схемы позволяет выделить следующие процессы:

- из месторождения сырой газ (смесь газа и газового конденсата) поступает в сепаратор С-0, в котором разделяется на две фракции газообразную и жидкую;
- газообразная фракция подается в теплообменник ТО, в котором охлаждается обратным потоком сухого газа. В результате охлаждения происходит частичная конденсация газа;
- после охлаждения в ТО газ подается в сепаратор С-1, в котором происходит дальнейшее разделение жидкой и газообразной фракций;

– осушенный газ направляется в турбодетандер, в котором происходит расширение газа с понижением температуры и давления. При этом происходит дополнительно частичная конденсация газа и газ становится влажным. Расширяясь в турбодетандере, газ вырабатывает механическую энергию, которую отдает присоединенному компрессору;

– затем влажный газ направляется в сепаратор С-2, в котором происходит дополнительное разделение жидкой и газообразной фракций;

– из сепаратора С-2 сухой газ направляется в ТО, в котором отдает свой холод сырому газу; после ТО нагретый сухой газ направляется в компрессор, присоединенный к турбодетандеру, в котором сжимается и после повышения давления и температуры газ направляется в магистраль.

Представленная принципиальная схема применяется на ГКМ в установках комплексной подготовки газа (УКПГ), где необходима осушка, очистка или извлечение низкокипящих углеводородных компонентов. Содержание метана в таких составах газа на входе в установку меньше 90 % объёмных, на выходе из установки более 90 % объёмных. Температура газа на выходе из турбодетандера в этих схемах достигается обычно от минус 10 до минус 70 °С (в зависимости от назначения).

3 Объект и методы исследования

3.1 Технологическая характеристика объекта исследования

Полное наименование объекта – Установка комплексной подготовки газа и конденсата на Казанском НГКМ. Главной задачей УКПГ является подготовка природного газа до соответствия требованиям СТО Газпром 089–2010 «Газ горючий природный».

В составе сооружений УКПГиК предусмотрена одна установка подготовки газа (УПГ), одна установка подготовки стабильного конденсата и пропан-бутана технического (УСК).

Товарной продукцией УКПГиК является осушенный газ (ГО), стабильный газовый конденсат (СК) и пропан-бутан технический (ПБТ).

Производительность УКПГИК:

- по осушенному газу соответствует 925,00 млн. ст. м³/год (подаваемому в межпромысловый газопровод «Казанское НГКМ – Северо-Останинское НМ – Мыльджинское НГКМ»)
- по стабильному газовому конденсату – 83,99 тыс.т./год (подаваемому в резервуарный парк УПН Казанского НГКМ для внешнего транспорта)
- по получаемому пропан-бутану техническому 316,55 тыс. т/год.

Пропан-бутан технический от Мыльджинского НГКМ В объеме 200 тыс. т/год поступает на УКПГиК и совместно с собственным ПБТ перекачивается насосом внешней перекачки (суммарный объем до 516,55 тыс. т/год) в продуктопровод «Казанское НГКМ – Ж.Д. терминал СПБТ в г. Куйбышеве».

Оборудование УКПГиК предусмотрено из расчёта непрерывного круглосуточного режима работы газокompрессорных станций в течение 360 суток в год (письмо ОАО «ТОМСКГАЗПРОМ» исх. № 12–06/448 от 24.07.2012).

Производительность оборудования предусмотрена с учетом возможности регулирования от 50 % до 120 % от номинального значения.

Осушка попутного нефтяного газа осуществляется до требований СТО Газпром 089–2010:

- точка росы по воде при абсолютном давлении 3,92 МПа для холодных районов не выше минус 20 °С в период с 01.10 по 30.04, минус 14 °С в период с 01.05 по 30.09

- точка росы по углеводородам при абсолютном давлении от 2 до 7,5 МПа для холодных районов не выше минус 10 °С в период с 01.10 по 30.04, минус 5 °С в период с 01.05 по 30.09.

Подготовка стабильного газового конденсата (СК) производится до требований ГОСТ 54389–2011, пропан-бутана технического (ПБТ) – до требований ГОСТ Р 52087-2003.

Установка подготовки газа УКПГ и К включает:

- цех подготовки газа и газового конденсата (поз. 1 по генплану), технологическое помещение № 1;

- площадку теплообменников (поз. 2 по генплану) - открытая площадка;

- пункт измерения расхода газа (поз. 9 по генплану);

- ёмкость дренажную V=40 МЗ (поз. 12 по генплану)

- открытая площадка;

- ёмкость для слива масла (поз. 38 по генплану)

- открытая площадка.

Установка подготовки стабильного конденсата УКПГИК включает:

- технологические помещения № 2, № 3 цех подготовки газа и газового конденсата (поз. 1 по генплану),;

- площадку колонн (поз. 4 по генплану),

- площадку печей (поз. 5 по генплану),

- площадку АВО (поз. 6 по генплану),

- площадку рефлюксной ёмкости (поз. 10 по генплану),
- площадку буферных ёмкостей (поз. 7 по генплану),
- насосную и узел учёта ПБТ (поз. 13 по генплану),
- площадку дренажных ёмкостей (поз. 11 по генплану),
- ёмкость азота (поз. 39 по генплану).

Резерв оборудования предусмотрен для насосов, турбодетандерного агрегата (ТДА), теплообменника Т 5, аппарата воздушного охлаждения (ВХ) 3 для охлаждения тосола. Остальное оборудование принято без резерва.

Воздух на УКПГиК подаётся по трубопроводу от станции сжатого воздуха ГКС с давлением (0,6. . . 1,0) МПа к пневмоприводам ЗРА и приборам КИП и А.

Метанол подается от насосной метанола БН 2, расположенной на площадке ГКС с давлением 10, МПа для обеспечения безгидратного режима технологического процесса.

Азот с давлением 1,0 МПа На УКПГиК поступает по трубопроводу от станции воздушно-азотной на ГКС1 Казанского НГКМ для продувки трубопроводов, для поддержания газовой шапки в буферных ёмкостях БЕ 2 – БЕ 4, в емкостях поз. 39 – для азотной завесы печей, предназначенной для предотвращения контакта с источниками зажигания горючих газовых смесей, образующихся при авариях на смежных установках.

Газ топливный от установки подготовки топливного газа (УПТГ 2) ГКС 2 с давлением 0,5 МПа подаётся к горелкам печей П 1, П 2 и в качестве продувочного газа в начало коллекторов: газа на факел и газа с предохранительных клапанов.

Подача уплотнительного газа, предназначенного для предотвращения проникновения смазочного масла в корпус турбодетандера через лабиринтные уплотнения, предусматривается от двух источников: газа сепарированного из газопровода на входе УКПГИК с давлением 9,8 Мпа или газа осушенного из трубопровода осушенного газа после компрессора ТДА с давлением 8,0 МПа.

Осушенный газ от УКПГиК подаётся по трубопроводу в качестве топливного на установку подготовки топливного газа ГКС 2 от двух источников: из коллектора осушенного газа ГО 3.1 после компрессоров ТДА и из межпромыслового газопровода ГО 4.1 при останове УКПГиК.

Газ выветривания с УСК подаётся на вход фильтр-сепаратора ГКС 2 (поз. 33 по генплану). В качестве охлаждающей жидкости «горячих» циркуляционных насосов БН 1, БН 2 применяется антифриз – Тосол–65. Хранится тосол в бочках на складе ГСМ. Для системы смазки турбодетандеров применяется масло Shell Tellus S2 V68. Хранится в бочках на складе ГСМ.

Газ из оборудования и трубопроводов УКПГиК при плановых и аварийных остановах подаётся по трубопроводу на площадку факельного сепаратора (СФ2) ГКС и далее для сжигания на факельную установку Ф1 (DN 700). Пропан-бутан технический при возникновении аварийной ситуации на межпромысловом трубопроводе ПБТ 6.5 направляется на вход насосов БН 8 с последующей подачей на куст № 1 в скважину 673.

Организацию работ по эксплуатации Казанского НГКМ осуществляет эксплуатирующая организация – ОАО «ТОМСКГАЗПРОМ».

Организацию работ по эксплуатации Казанского НГКМ осуществляет эксплуатирующая организация – ОАО «ТОМСКГАЗПРОМ».

Таблица 1 – Расчётный компонентный состав попутного нефтяного газа от ГКС, ГКС 2.

Наименование показателей	% мольных	
	Первый год (лето)	Первый год (зима)
Состав:		
Азот	0,0142	0,0144
Метан	0,7484	0,7628
Диоксид углерода	0,0158	0,0163

Продолжение таблицы 1

Этан	0,0804	0,0827
Пропан	0,0807	0,0748
Изо-Бутан	0,0228	0,0192
И-Бутан	0,0244	0,0198
Изо-Пентан	0,0055	0,0040
И-пентан	0,0037	0,0026
Метанол	0,0001	0,0005
Вода	0,0004	0,0003
Сумма C3+	0,1404	0,1226

3.2 Описание технологического процесса на УКПГиК Казанского НГКМ

Подготовка попутного нефтяного газа на УКПГиК Казанского НГКМ, В соответствии с требованиями СТО Газпром 089–2010, предусмотрена по технологии низкотемпературной сепарации с применением турбодетандерного агрегата. Также предусмотрена возможность кратковременной работы, при неисправности ТДА, через низкотемпературный клапан с получением дроссельного эффекта Джоуля–Томсона. Подготовка газового конденсата осуществляется на установке стабилизации конденсата.

Технология УСК предусматривает последовательное извлечение (деэтанзация, стабилизация) низкокипящих компонентов ИЗ нестабильного газового конденсата, поступающего ИЗ сепараторов ГКС 1, ГКС 2 и собственной установки подготовки газа (УПГ). Доведение качества газового конденсата (Давления насыщенных паров по Рейду) до требований ГОСТ 54389-2011. Извлеченные низкокипящие компоненты составляют основу второго продукта УСК – пропана-бутана технического, по качеству удовлетворяющего требованиям ГОСТ Р 52087–2003. Основным технологическим процессом на УСК является процесс ректификации, реализуемый в колоннах с тарельчатыми тепло-массообменными секциями.

Технологические параметры работы технологического оборудования, указанные в описании и на схемах принципиальных технологических и автоматизации, приведены при полной загрузке газом и конденсатом УКПГиК.

Предельные значения параметров давления газа и конденсата приняты:

- для предупредительной сигнализации: минимальные значения 0,90 Рраб., максимальные – 1,05 Рраб.;
- для аварийной сигнализации и блокировок: минимальные значения 0,80 Рраб., максимальные – 1,10 Рраб.

3.3 Установка подготовки газа

Описание технологической схемы приводится по параметрам (таблица 2):

Таблица 2 – Параметры турбокомпрессорного агрегата модели L-2000 тип 2000-5E7C

Показатель	Условное обозначение	Детандер	Компрессор
Мольный вес		21,2	16,32
Вход	Давление МПа (абс.)	9,796	6,44
	Температура С	-0,7	4,2
Выход	Давление МПа (абс.)	6,5	8,0
	Температура С	-18,7	24,1
Расход	нм ³ /ч	125 029	107 584
	кг/ч	118 278	92 645
Скорость вращения вала	Об/мин	20 500	20 500
КПД	%	86%	78%
Мощность на валу	кВт	702	695

Попутный нефтяной газ (ПНГ) от газокompрессорной станций первой и второй очереди (ГКС-1,2) с давлением до 9,8 МПа и температурой до 18 °С направляется через трубное пространство рекуперативного теплообменника Т1, охлаждаясь за счет холода углеводородного конденсата от сепараторов С 1, С 2, проходящего по межтрубному пространству теплообменника Т 1 с

давлением до 3,0 МПа, температурой до минус 34 °С. Далее сырой газ с температурой до 7°С направляется в трубные секции рекуперативного теплообменника Т 2, где доохлаждается за счет холода осушенного газа из низкотемпературного сепаратора С 2, проходящего по межтрубному пространству теплообменника Т 2. Затем газ с давлением до 9,7 МПа и температурой до минус 3 °С подаётся в сепаратор первой ступени С 1, в котором, проходя через центробежные и фильтрующие элементы, очищается от капельной жидкости и поступает в турбодетандер (ТДА). Для защиты теплообменного оборудования от гидратообразования предусмотрена подача метанола с давлением 10,0 МПа в поток сырого газа ГС 2.1, ГС 3.1 соответственно перед рекуперативными теплообменниками Т 1 И Т 2.

Регулирование и учёт подаваемого ингибитора осуществляется в блоке подачи метанола (БПМ 1). Для окончательного охлаждения газ подаётся в детандерную секцию ТДА (см. LAT5456ЕС РЭ) с давлением до 9,7 МПа и температурой до минус 3 °С, в которой охлаждается с помощью импеллера (рабочего колеса) ступени детандера.

Охлаждённый ПНГ поступает в низкотемпературный сепаратор С2 с давлением до 6,5 МПа и температурой до минус 21°С, где отделяется от жидкости (углеводородного конденсата и водометанольного раствора). Осушенный газ из низкотемпературного сепаратора С 2 через межтрубное пространство теплообменника Т 2 поступает на импеллер компрессора с температурой до 1°С. Компримируется и направляется в пункт измерения расхода газа (ПИРГ) с давлением до 8,0 МПа и температурой до 18 °С. В случае работы на низкотемпературном клапане сепарированный газ из сепаратора С 1 с давлением до 9,7 МПа и температурой до минус 3,1 °С подаётся в низкотемпературный сепаратор С 2 через байпасную линию ТДА (ТДА отключены), оснащённую запорной арматурой и регулятором с дистанционным управлением.

После дросселирования газ с давлением до 5,5 МПа и температурой до минус 21°С направляется в сепаратор С 2 для освобождения от жидкости.

Осушенный газ из низкотемпературного сепаратора С 2 через межтрубное пространство теплообменника Т 2 поступает в ПИРГ с давлением до 5,5 МПа температурой до минус 2 °С. После замера расхода в ПИРГ газ направляется в межпромысловый газопровод. ТДА предназначен для расширения и сжатия природного газа и представляет из себя одноступенчатый турбодетандер, компенсированный одноступенчатым центробежным компрессором. Агрегат смонтирован на стальной раме и оборудован единой системой смазки (масляные насосы, фильтры, маслобак, аппарат воздушного охлаждения, ЗРА) и газовых уплотнений.

Система смазки обеспечивает циркуляцию охлаждённого, отфильтрованного смазочного масла под давлением и служит для смазки подшипников. В состав установки также входят: система управления (аппаратные средства и программное обеспечение), измерительные приборы, клапаны, кабели, распределительные щиты и прочее оборудование, собранное на раме. На раме расположена панель управления, позволяющая настраивать работу агрегата и осуществлять его пуск/останов. К ТДА подводится: воздух КИПиА - для управления пневмоприводом, уплотнительный газ – для предотвращения проникновения смазочного масла в корпус турбодетандера через лабиринтные уплотнения.

Уплотнительный газ на время пускового периода с давлением 9,8 МПа и температурой до 18 °С, сдвинутом клапаном Вр 1.5, с давлением 8,0 МПа и температурой до 11 °С подаётся на вход теплообменника «газ-вода» Т 5.1 (Т 5.2), а при выходе установки НТС на рабочий режим из трубопровода осушенного газа ГО 3.1 после компрессора ТДА1.1 (ТДА1.2) давлением до 8,0 МПа и температурой до 18 °С. При нормальном режиме уплотнительный газ (осушенный) с давлением до 8,0 МПа и температурой до 18 °С подаётся в теплообменник Т 5.1 (Т 5.2) через арматуру: Кр 1.65, Кр 1.54, КЛР 1.5, Кр 1.55, Вр 1.5, Кр 1.56, Кр 1.73 (Кр 1.74).

В теплообменнике Т 5.1 (Т 5.2) газ нагревается за счёт тепла, отдаваемого теплоносителем из системы теплоснабжения, до 54 °С при пусковом режиме и до температуры 35,0 °С – при нормальном режиме.

Перед подачей в лабиринтные уплотнения ТДА 1.1 (ТДА 1.2) уплотнительный газ редуцируется регулятором дифференциального давления РД 1.1 (РД 1.2) в составе ТДА до давления 6,83 МПа. После лабиринтных уплотнений ТДА 1.1 (ТДА 1.2) газ смешивается с маслом масляной системы подшипников и объединённый газомаслянный поток поступает в ёмкость системы смазки, расположенной на раме ТДА, где отделяется от жидкой фазы (масла) и направляется в узел редуцирования с регулятором давления «до себя» РД 1.5, поддерживающим давление в ёмкости масляной системы на уровне (5,86. . .6,2) МПа.

После снижения давления до 2,28 МПа запорно-регулирующим клапаном КлЗР 1.1 газ по трубопроводу Г 3.3 подаётся совместно с газом выветривания от выветривателя В 1, буферной ёмкости БЕ 1 и газом деэтанзации колонны К 1 на вход фильтр-сепаратора ГКС 2 (поз. 33 по генплану). Дренаж из установки НТС, при ремонтных работах, плановых и аварийных остановках, осуществляется в дренажную ёмкость Е 6. Возврат газового конденсата в технологический процесс из Е 6 производится через буферную ёмкость БЕ 2, ИЗ которой газовый конденсат подаётся насосом БН 6 по трубопроводу КГН 8.1 с давлением до 3,0 МПа через арматурный блок Ар 1 В 1 В буферную ёмкость БЕ1.

Дренаж масла из системы смазки ТДА при плановых остановках осуществляется в дренажную ёмкость Е 7, для проведения гидроиспытания трубопроводов и оборудования установлена арматура с ручным приводом для заполнения и слива жидкости, продувки.

4 Расчеты и аналитика

Процесс расширения в турбодетандерах основывается на преобразовании энергии давления рабочего вещества сначала в кинетическую энергию а затем в механическую.

Преобразование энергии происходит в каналах неподвижных и лопаточных решеток, расположенным друг за другом.

По конструктивному признаку турбодетандеры делятся на радиальные и осевые. В данной работе проведем расчёт радиального турбодетандера. Для упрощения расчёта из рассмотрения исключены входное и выходное устройство, так что по существу рассчитывается только двухзвенная ступень, состоящая из основных элементов проточной части соплового аппарата и рабочего колеса. Для решения этой задачи проведем расчёты в программе Matchcad .

1. Цель работы

Определить:

основные геометрические и режимные параметры турбодетандера; температуру рабочего вещества при выходе из турбодетандера; к.п.д. турбодетандера; мощность турбодетандера.

Построить:

диаграмму $h-s$ процесса расширения в турбодетандере; треугольники скоростей при входе и выходе из рабочего колеса; эскиз проточной части турбодетандера.

2. Исходные данные

рабочее вещество газ метан; температура торможения на входе в сопловой аппарат детандера

$$T^*_0 := 183 \text{ K}$$

В адиабатных, т.е. не обменивающихся теплотой с окружающей средой, машинах поток в неподвижных элементах проточной части: входных и выходных устройствах, сопловых аппаратах и т.п. является изоэнергетическим. Поэтому энтальпия торможения в таком потоке постоянна ($h^* = \text{const}$). В идеальном газе при $c_p = \text{const}$ постоянна и температура торможения ($T^* = \text{const}$).

$$p^*_0 := 280000 \text{ Па (0,280 МПа)}$$

При малых скоростях потока при входе в сопловой аппарат ($c_0 = 30 \text{--} 50 \text{ м/с}$) статические давления мало отличаются от давления торможения, так что точки 0 и 0* можно в первом приближении считать совпадающими. При более высоких скоростях перед сопловым аппаратом это различие необходимо учитывать. статическое давление при выходе из рабочего колеса детандера

$$p_2 := 106000 \text{ Па (0,106 МПа)}$$

массовый расход рабочего вещества через детандер

$$\underline{G} := 1.0 \text{ кг/с.}$$

3.Расчёт центростремительного радиального детандера

В связи с тем, что рассчитывается турбодетандер для расширения метанна при невысоких давлениях, допустимо считать рабочее вещество подчиняющимся уравнению состояния идеального газа $p v = R T$

где k показатель изэнтропы рабочего вещества (для воздуха $k = 2,087$);

Удельная теплоемкость метанна

R газовая постоянная рабочего вещества (для метанна $R = 519 \text{ Дж/(кг К)}$).

$$k := 2.087 \quad R := 519$$

$$c_p := \frac{k}{k-1} \cdot R = 996.5 \text{ Дж/(кг К)},$$

2. Отношение давлений в детандере

$$\pi_{02} := \frac{p^*_0}{p_2} = 2.6415$$

3.Энтальпия торможения рабочего вещества при входе в детандер и сопловой аппарат

$$i^*_0 := c_p \cdot T^*_0 = 182352 \text{ Дж/(кг К)}.$$

Формулы, подобные этой, могут использоваться только при расчетах в идеальном газе и, кроме того, в пределах одного расчета.

Из этой формулы следует, что при $T = 0$ энтальпия рабочего вещества $h = 0$. Сравнение полученной таким образом энтальпии со значения

ми, найденными по каким либо таблицам, неправомерно, так как в табличных значениях присутствует постоянная энтальпия, значение которой выбирается произвольно. Сравнивать можно только разности энтальпий между двумя точками с известными параметрами.

4. Перепад энтальпий при изэнтропном расширении рабочего вещества в детандере

$$\Delta i_{02s} := c_p \cdot T^*_0 \cdot \left[1 - \frac{1}{(\pi_{02})^{\frac{k-1}{k}}} \right] = 72403$$

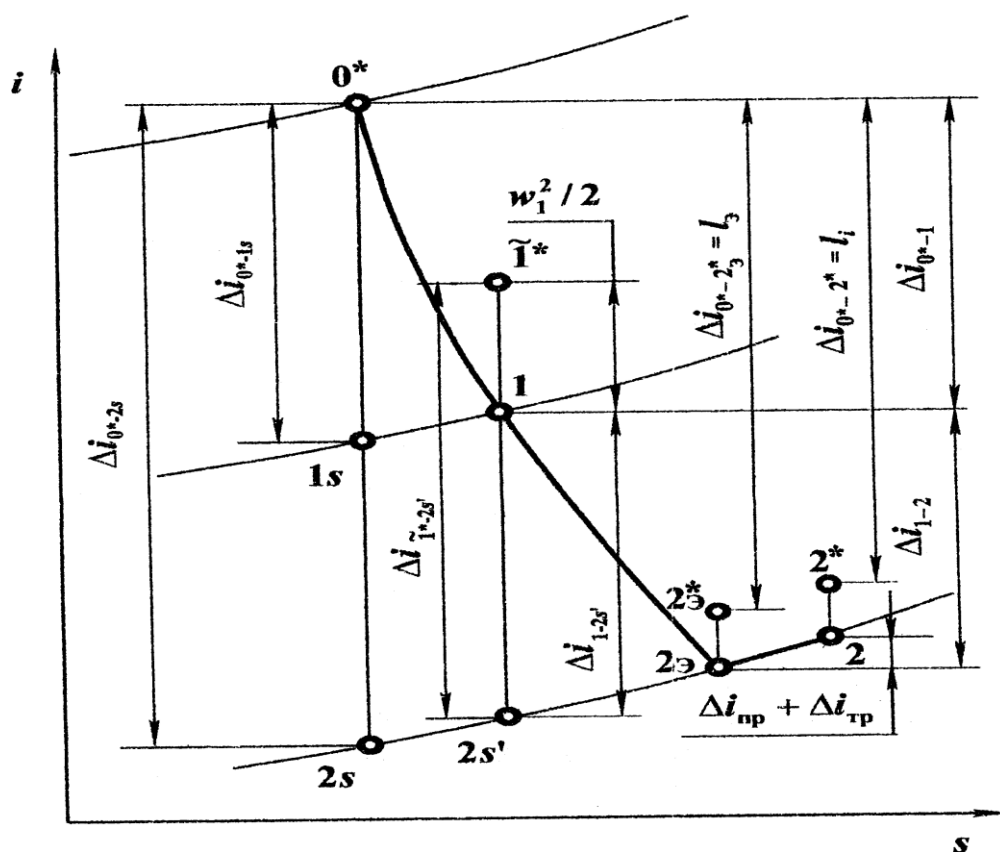
5. Коэффициент реактивности ступени турбодетандера по изэнтропным теплоперепадам принимается в пределах

$$\Omega_{s12} := 0.5$$

6. Энтальпия и температура рабочего вещества на выходе из турбодетандера при изэнтропном расширении:

$$i_{2s} := i^*_0 - \Delta i_{02s} = 109949 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$T_{2s} := \frac{i_{2s}}{c_p} = 110.34 \text{ К}$$



7. Изэнтропный перепад энтальпий в сопловом аппарате

$$\Delta i_{01s} := |1 - \Omega_{s12} \cdot \Delta i_{02s}| = 36201 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

8. Статическая энтальпия рабочего вещества при выходе из соплового аппарата при изэнтропном расширении

$$i_{1s} := i^*_0 - \Delta i_{01s} = 146152$$

9. Действительный перепад энтальпий в сопловом аппарате

где η_{sc} – изэнтропный к.п.д. соплового аппарата

$$\eta_{sc} := 0.88$$

$$\Delta i_{01} := \Delta i_{01s} \cdot \eta_{sc} = 31856 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

10. Статическая энтальпия рабочего вещества при выходе из соплового аппарата

$$i_1 := i^*_0 - \Delta i_{01} = 150496 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

11. Статическая температура потока при выходе из соплового аппарата

$$T_1 := \frac{i_1}{c_p} = 151.03 \text{ K}$$

12. Статическая температура потока при выходе из соплового аппарата при изэнтропном расширении

$$T_{1s} := \frac{i_{1s}}{c_p} = 146.67 \text{ K}$$

13. Условная располагаемая скорость изэнтропного расширения потока в турбодетандере

$$c_s := \sqrt{2 \cdot \Delta i_{02s}} = 380.5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

14. Действительная скорость потока при выходе из соплового аппарата

$$c_1 := \sqrt{2 \cdot \Delta i_{01}} = 252 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

15. Скорость звука в рабочем веществе при выходе из соплового аппарата

$$a_1 := \sqrt{k \cdot R \cdot T_1} = 404.5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

16. Число Маха по абсолютной скорости c_1 при выходе из соплового аппарата

$$Mc_1 := \frac{c_1}{a_1} = 0.624$$

17. Окружная скорость при входе в рабочее колесо

$$x_s := 0.63$$

$$u_1 := x_s \cdot c_s = 240$$

18. Угол выхода потока из соплового аппарата в абсолютном движении принимается в пределах

$$\alpha_1 := 16^\circ$$

19. Окружная и радиальная составляющие абсолютной скорости при выходе из соплового аппарата:

$$c_{1u} := c_1 \cdot \cos\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 242.6 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$c_{1r} := c_1 \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 69.6 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

20. Угол в относительном движении и относительная скорость при входе в рабочее колесо:

$$\beta_1 := \text{atan}\left(\frac{c_{1r}}{c_{1u} - u_1}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 87.61$$

$$w_1 := \frac{c_{1r}}{\sin\left(\beta_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = 69.6 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

21. Строим треугольник скоростей при входе в рабочее колесо, соблюдая масштаб так, чтобы непосредственными измерениями на чертеже можно было определить численные значения скоростей и углов и сравнить их с расчетными

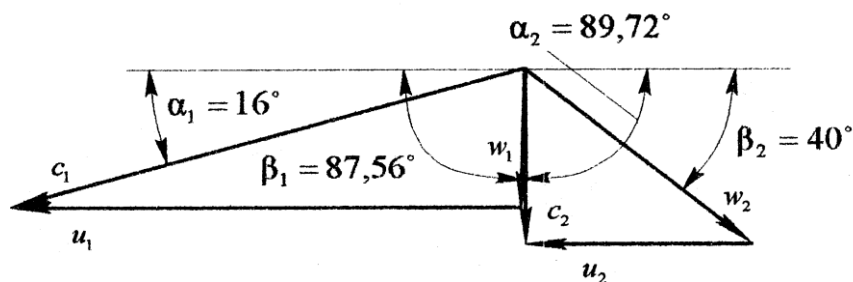


Рисунок 4 –Треугольники скоростей в рабочем колесе

22. Число Маха по относительной скорости w_1 при входе в рабочее колесо

$$M_{w1} := \frac{w_1}{a_1} = 0.172$$

23. Давление рабочего вещества при выходе из соплового аппарата

$$p_1 := p^*_0 \cdot \left(\frac{T_{1s}}{T^*_0} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 183078 \text{ Па}$$

$$p_1 := p^*_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta i_{01s}}{c_p T^*_0} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 183078$$

Принимаем первое значение $p_1 = 178180$ Па.

24. Изоэнтропный перепад энтальпий в рабочем колесе

$$\Delta i_{12s} := i_1 \cdot \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k}{k-1}}} \right] = 37279 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

25. Действительный перепад энтальпий в рабочем колесе

$$\eta_{sk} := 0.82$$

$$\Delta i_{12} := \Delta i_{12s} \cdot \eta_{sk} = 30568 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

26. Энтальпия рабочего вещества при выходе из рабочего колеса

$$i_2 := i_1 - \Delta i_{12} = 119927 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

27. Температура рабочего вещества при выходе из рабочего колеса

$$T_2 := \frac{i_2}{c_p} = 120 \text{ К}$$

28. Окружная скорость при выходе из рабочего колеса
где μ относительный диаметр выхода из рабочего колеса
(коэффициент радиальности)

$$\mu := 0.45$$

$$u_2 := \mu \cdot u_1 = 107.9 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

29. Относительная скорость потока при выходе из рабочего колеса

$$w_2 := \sqrt{2 \cdot \Delta i_{12} + w_1^2 + u_2^2 - u_1^2} = 142.0 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

30. Угол потока при выходе из рабочего колеса в относительном движении принимается

$$\beta_2 := 39$$

31. Меридианная (радиальная в чисто радиальной ступени и осевая в радиально осевой ступени) составляющая скоростей при выходе из колеса

$$c_{2m} := w_2 \cdot \sin\left(\beta_2 \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 89.3 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

32. Угол потока при выходе из колеса в абсолютном движении

$$\alpha_2 := \text{atan}\left(\frac{c_{2m}}{w_2 \cdot \cos\left(\beta_2 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - u_2}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 88.44$$

33. Абсолютная скорость потока при выходе из рабочего колеса

$$c_2 := w_2 \cdot \frac{\sin\left(\beta_2 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{\sin\left(\alpha_2 \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = 89.4 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

34. Строим треугольник скоростей при выходе из рабочего колеса, соблюдая масштаб так, чтобы непосредственными измерениями на чертеже можно было определить численные значения скоростей, углов и сравнить их с расчетными (см. рис.2). Из треугольника скоростей определяем абсолютную скорость

$c_2 = 68.7$ м/с и угол $\alpha_2 = 89^\circ$, что хорошо совпадает с расчетом.

35. Скорость звука при выходе из рабочего колеса

$$a_2 := \sqrt{k \cdot R \cdot T_2} = 361.1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

36. Число Маха по абсолютной скорости c_2

$$Mc_2 := \frac{c_2}{a_2} = 0.248$$

$$q_v := \frac{c_2^2}{2} = 3993$$

$$q_v := \frac{c_2^2}{2} = 3993$$

37. Удельная Эйлера работа ступени на окружности рабочего колеса

$$Le = \Delta i_{02e}$$

$$\Delta i_{02e} := u_1 \cdot c_1 \cdot \cos\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + u_2 \cdot c_2 \cdot \cos\left(\alpha_2 \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 58432 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

или из основного уравнения турбодетандера

$$\Delta i_{02e} := \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} - \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} = 58432 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Проверка:

$$\Delta i_{02e2} := \Delta i_{01} + \Delta i_{12} - \frac{c_2^2}{2} = 58432$$

Погрешность

$$\delta := \frac{\Delta i_{02e} - \Delta i_{02e2}}{\Delta i_{02e}} \cdot 100 = -1.245 \times 10^{-14}$$

38. К.П.Д. детандера (к.п.д. на окружности рабочего колеса)

$$\eta_{sdh} := \frac{\Delta i_{02e}}{\Delta i_{02s}} = 0.807$$

39. Коэффициент возврата теплоты в рабочем колесе

$$\alpha := \frac{\Delta i_{12s} - (\Delta i_{02s} - \Delta i_{01s})}{\Delta i_{02s}} = 0.0149$$

40. Снижение к.п.д. детандера из-за потерь в сопловом аппарате

$$\Delta \eta_{dc} := \frac{\Delta i_{01s} - \Delta i_{01}}{\Delta i_{02s}} = 0.06$$

41. Снижение к.п.д. детандера из-за потерь в рабочем колесе

$$\Delta \eta_{dk} := \frac{\Delta i_{12s} - \Delta i_{12}}{\Delta i_{02s}} = 0.093$$

42. Кинетическая энергия потока при выходе из рабочего колеса

$$q_v := \frac{c_2^2}{2} = 3993$$

43. Снижение к.п.д. детандера из-за потерь с выходной скоростью

$$\Delta \eta_{dv} := \frac{q_v}{\Delta i_{02s}} = 0.055$$

44. Проверка значения к.п.д.:

$$\eta_{sdh2} := 1 + \alpha - \Delta \eta_{dc} - \Delta \eta_{dk} - \Delta \eta_{dv} = 0.8070$$

Погрешность

$$\delta_2 := \frac{\eta_{sdh} - \eta_{sdh2}}{\eta_{sdh}} \cdot 100 = 0.000$$

Погрешность в определении к.п.д. не должна превышать 1 ... 2% относительных.

45. Удельный объем рабочего вещества при выходе из каналов рабочего колеса

$$v_2 := \frac{R \cdot T_2}{p_2} = 0.5893 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

46. Наружный диаметр выходного сечения рабочего колеса где D_{vt} диаметр втулки вала (определяется конструкцией рабочего колеса и ротора детандера. В рассматриваемой конструкции (рис.5) втулка в выходное сечение колеса не попадает, т.е. $D_{vt} = 0$).

$$D_{vt} := 0$$

$$D_v := \sqrt{\frac{4 \cdot G \cdot v^2}{\pi \cdot w^2 \cdot \sin\left(\beta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}} + D_{vt}^2 = 0.0916 \text{ м}$$

47. Средний диаметр при выходе из лопаток рабочего колеса

$$D_2 := 1.066 \cdot D_v = 0.10 \text{ м}$$

48. Наружный диаметр рабочего колеса

$$D_1 := \frac{D_2}{\mu} = 0.22 \text{ м}$$

49. Частота вращения рабочего колеса

$$n := \frac{u_1}{\pi \cdot D_1} = 352 \text{ об/с} \quad 17953 \text{ об/мин}$$

50. Радиальный зазор между сопловым аппаратом и рабочим колесом

$$y := 0.005 \cdot D_1 + 0.0005 = 0.0016 \text{ м}$$

51. Диаметр при выходе из соплового аппарата

$$D_c := D_1 + 2 \cdot y = 0.220 \text{ м}$$

52. Удельный объем рабочего вещества при выходе из соплового аппарата

$$v_1 := \frac{R \cdot T_1}{p_1} = 0.4281 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

53. Высота лопатки при выходе из соплового аппарата

где τ_c коэффициент стеснения потока при выходе из соплового аппарата

$$\tau_c := 0.95$$

$$b_c := \frac{G \cdot v_1}{\pi \cdot D_c \cdot c_1 \cdot \sin\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \tau_c} = 0.009$$

54. Высота лопатки при входе в рабочее колесо

$$b_1 := 0.0004 + 1.1b_c = 0.0107$$

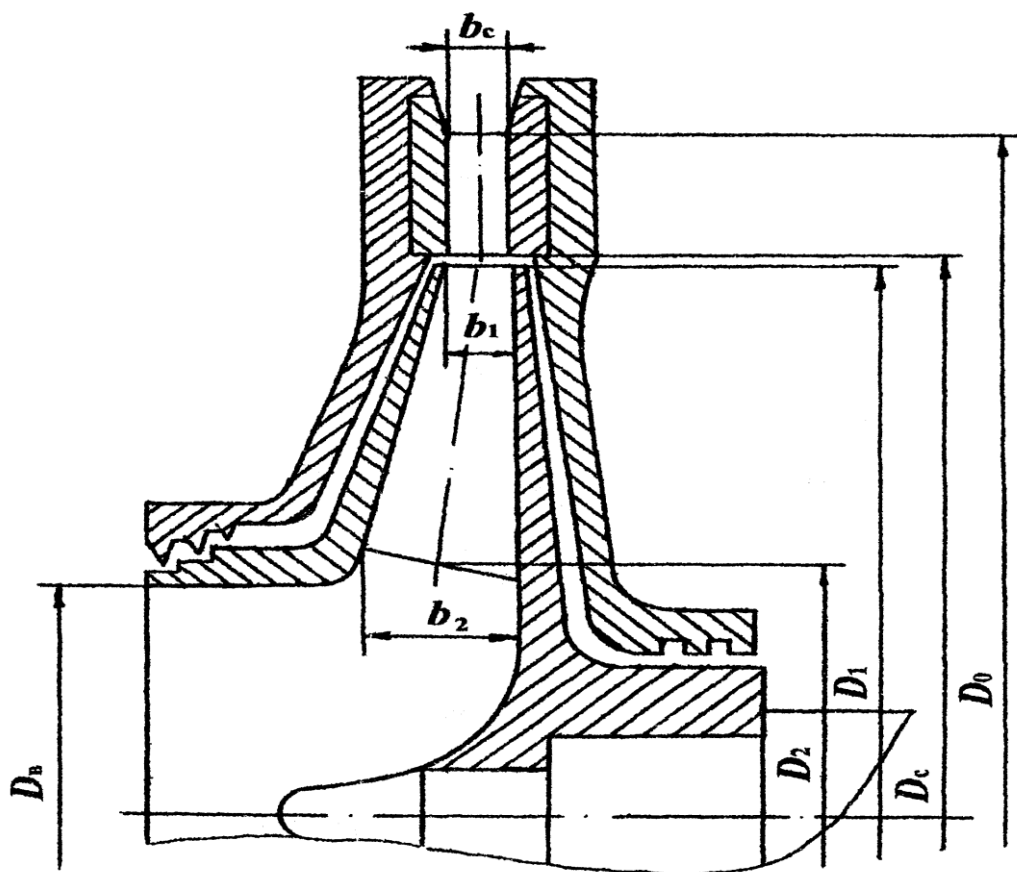


Рисунок 5 – Поперечный разрез центробежного радиального детандера

55. Высота лопатки при выходе из рабочего колеса

где τ_2 коэффициент стеснения потока в рабочем колесе

$$\tau_2 := 0.9$$

$$b_2 := \frac{G \cdot v_2}{\pi \cdot D_2 \cdot w_2 \cdot \sin\left(\beta_2 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \tau_2} = 0.024$$

56. Условный критерий Рейнольдса по окружной скорости
где μ_1 динамический коэффициент вязкости рабочего вещества

$$\mu_1 := 10.80 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}^2}$$

$$\text{Reu} := \frac{u_1 \cdot D_1}{\mu_1 \cdot v_1} = 1.126 \times 10^7$$

56. Условный критерий Рейнольдса по окружной скорости
где μ_1 динамический коэффициент вязкости рабочего вещества

$$\mu_1 := 10.80 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}^2}$$

$$\text{Reu} := \frac{u_1 \cdot D_1}{\mu_1 \cdot v_1} = 1.126 \cdot 10^7$$

Таблица 3 – Зависимость динамического коэффициента
вязкости рабочего вещества от статической температуры
потока при выходе из соплового аппарата

T_1, K	100	150	200	250	300
$10^6, \text{Н с/м}^2$	6,867	10,006	12,949	15,794	18,541

57. Коэффициент трения зависит от режима течения около диска:

В нашем случае течение турбулентное, тогда

$$cf := 0.0089 \cdot \text{Reu}^{-0.2} = 0.000346$$

58. Коэффициент дисковых потерь

где $K_{т.д.}$ коэффициент трения диска (находится в пределах 1,3 ... 1,5 для закрытых колес и 1,6 ... 2,5 для полуоткрытых колес [1, 2]).

$$K_{td} := 1.5$$

$$K_{tr} := K_{td} \cdot cf \cdot 10^3 = 0.5190$$

59. Средний удельный объем рабочего вещества около диска

$$v_{cp} := 0.5 \cdot (v_1 + v_2) = 0.509 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

60. Мощность дискового трения

$$N_{tr} := \frac{K_{tr} \cdot D_1^2 \cdot u_1^3}{v_{cp} \cdot 10^6} = 0.663 \text{ кВт}$$

61. Относительные потери от дискового трения

$$\beta_{tp} := \frac{N_{tr} \cdot 10^3}{G \cdot \Delta i_{02e}} = 0.011$$

62. Относительные потери от утечки через лабиринтные уплотнения рабочего колеса принимаются в пределах $\beta_{np} = 0,02 \dots 0,04$ [1, 2]:

$$\beta_{np} := 0.03$$

63. Внутренний или мощностной к.п.д. детандера

$$\eta_{sdi} := (1 - \beta_{np} - \beta_{tp}) \cdot \eta_{sdh} = 0.774$$

64. Внутренняя мощность детандера

$$N_d := G \cdot \Delta i_{02s} \cdot \eta_{sdi} = 56016 \text{ Вт}$$

65. Внутренняя работа детандера с учетом потерь на протечки и трение

$$li = \Delta i_{02}$$

$$\Delta i_{02} := (1 - \beta_{np} - \beta_{tp}) \cdot \Delta i_{02e} = 56016 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

66. Энтальпия торможения рабочего вещества при выходе из рабочего колеса детандера с учетом потерь на протечки и трение

$$i^*_2 := i^*_0 - \Delta i_{02} = 126336 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

67. Статическая энтальпия рабочего вещества при выходе из рабочего колеса детандера с учетом потерь на протечки и трение

$$\underline{i_2} := i^*_2 - \frac{c_2^2}{2} = 122343 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

68. Температура торможения и статическая температура рабочего вещества при выходе из рабочего колеса детандера с учетом потерь на протечки и трение:

$$T^*_2 := \frac{i^*_2}{c_p} = 126.78 \text{ K}$$

$$T_2 := \frac{i_2}{c_p} = 122.78 \text{ K}$$

4.1 Сопловой аппарат

1. Угол наклона передней стенки канала соплового аппарата

$$\alpha_n := 8$$

2. Наименьшая ширина канала соплового аппарата

$$b := D_c \cdot \left(\cos\left(\alpha_n \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right) = 0.0064$$

3. Угол наклона задней стенки канала соплового аппарата

$$\alpha_3 := \arccos\left(\cos\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \frac{b}{D_c}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 21.2$$

4. Число лопаток соплового аппарата

$$z_c := \tau_c \cdot \frac{360}{(\alpha_3 - \alpha_n)} = 26$$

5. Действительный коэффициент стеснения потока в сопловом аппарате

$$\tau_{cd} := z_c \cdot \frac{(\alpha_3 - \alpha_n)}{360} = 0.950$$

6. Уточненная ширина лопатки соплового аппарата

$$b_{cd} := b_c \cdot \frac{\tau_c}{\tau_{cd}} = 0.009 \text{ м}$$

7. Проверка отношения (должно быть как можно ближе к 1):

$$\frac{b}{b_{cd}} = 0.68$$

8. Диаметр соплового аппарата при входе

$$D_0 := D_c + 7.3 \cdot b = 0.267 \text{ м}$$

9. Толщина выходной кромки лопатки соплового аппарата

$$\delta := \pi \cdot D_c \cdot (1 - \tau_{cd}) \cdot \frac{\sin\left(\alpha_3 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{z_c} = 0.00048 \text{ м}$$

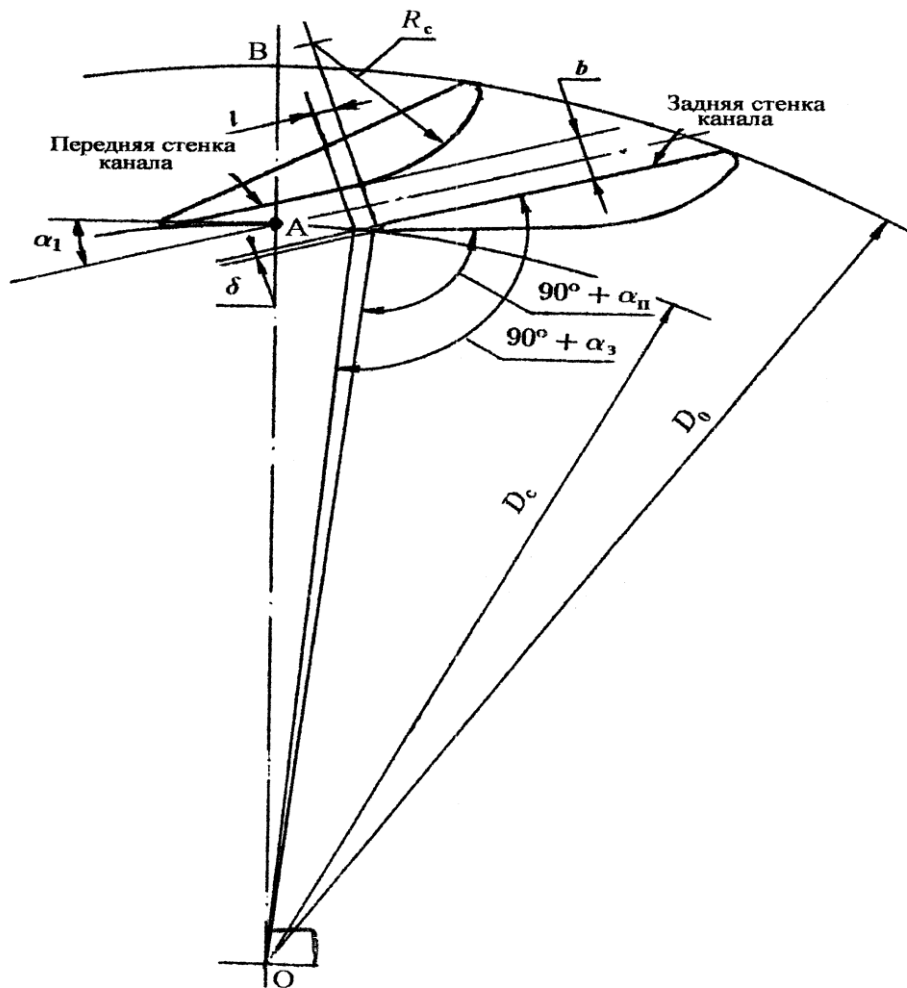


Рисунок 6 – Поперечный разрез соплового аппарата.

10. Длина вспомогательного отрезка профиля лопатки соплового аппарата

$$l := 0.2 \cdot b + 0.001 = 0.0023 \text{ м}$$

11. Радиус скругления лопатки соплового аппарата

$$R_c := 3.4 \cdot b = 0.022 \text{ м}$$

$$R_1 := 100 \quad R_2 := 45$$

$$R_1 := \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{2 \cdot \left(R_1 \cdot \cos\left(\beta_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + R_2 \cdot \cos\left(\beta_2 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right)} = 102$$

$$R_{ц} := \sqrt{R_2^2 + R_1^2 + 2 \cdot R_2 \cdot R_1 \cdot \cos\left(\beta_2 \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = 140$$

Порядок профилирования канала соплового аппарата:

- В выбранном масштабе нанести концентричные окружности диаметрами D_c и D_0 . Из центра окружности O восстановить перпендикуляр до пересечения с окружностями D_c и D_0 (точки A и B) и в точке A провести касательную к окружности D_c (рис. 6)
- Под углом 1 к касательной в точке A провести линию, соответствующую средней линии канала соплового аппарата. Параллельно средней линии на расстоянии $b/2$ провести прямые, соответствующие передней и задней стенкам канала;
- Окружность диаметром D_c сопрягается с задней стенкой канала радиусом 2 . От точки сопряжения по задней стенке канала в сторону входа отложить отрезок l ;
- Из полученной точки восстановить перпендикуляр к передней стенке канала и от нее на продолжении перпендикуляра отложить отрезок, равный R_c . Из полученного центра радиусом R_c провести дугу до пересечения окружностью диаметром D_0 ;

- Провести сопряжение полученной дуги, окружности D_0 и задней стенки соседнего канала, которая составляет угол (3°) с передней стенкой канала соплового аппарата.

4.2. Рабочее колесо.

Рассмотрим графический способ построения средней линии лопатки рабочего колеса. В выбранном масштабе построить окружности радиусами R_1 и R_2 (рис. 5);

- от вертикальной линии, восстановленной из центра окружностей, отложить угол $(180^\circ - \beta_1 + \beta_2)$ по часовой стрелке и провести луч до пересечения с окружностью радиусом R_2 ;

- точку пересечения соединить с точкой пересечения вертикальной линии с окружностью радиусом R_1 ;

- отрезок, заключённый между окружностями радиусами R_1 и R_2 , разделить пополам и из этой точки восстановить перпендикуляр; из точки, лежащий на окружности радиусом R_1 , провести луч под углом $1^\circ \beta$ к вертикали;

- точка пересечения данного луча и перпендикуляра есть геометрическое место центров радиусов кривизны лопаток рабочего колеса $R_{\text{ц}}$. Дуга проведенная из этой точки через точку пересечения с окружностью R_1 и R_2 , есть средняя линия лопатки рабочего колеса радиусом $R_{\text{л}}$;

- по данной методике построить вторую лопатку рабочего колеса.

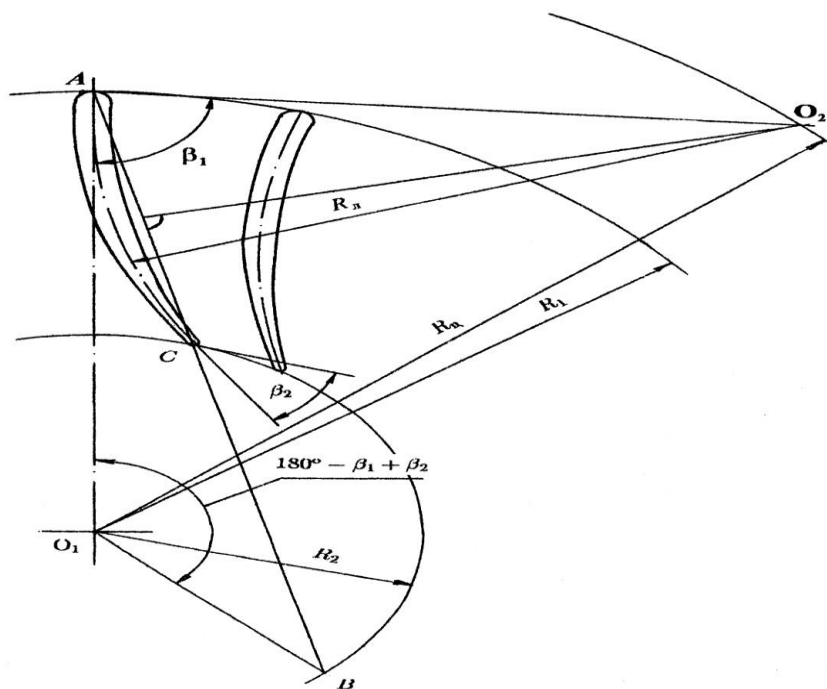


Рисунок 7 – Поперечный разрез рабочего колеса.

3. Ориентировочное число лопаток

$$z_1 := 7..8 \cdot \frac{1 + \mu}{1 - \mu} =$$

7.000
8.000
9.000
10.000
11.000
12.000
13.000
14.000
15.000
16.000
17.000
18.000
19.000
20.000
21.000

4. Наименьшее число лопаток при входе в рабочее колесо (по условию предотвращения срыва потока)

$$z_{lmin} := \pi \cdot \frac{\tan\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{\frac{1}{4 \cdot \left(\cos\left(\alpha_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)\right)^2 \cdot (1 - \Omega_{s12})}} = 21.9$$

Принимаем $z_l := 22$

5. Окружной шаг лопаток рабочего колеса при входе

$$t_1 := \pi \frac{D_1 \cdot 10^3}{z_l} = 31.0$$

6. Окружной шаг лопаток колеса при выходе

$$t_2 := \pi \frac{D_2 \cdot 10^3}{z_l} = 14.0$$

7. Лопатка колеса профилируется в виде части кругового кольца с плавным утонением к выходу. Исходя из возможного крепления покрывающего диска заклепками диаметром от 1,2 до 3,0 мм, выбираем толщину лопатки: при входе $s_1 = 5$ мм, а при выходе $s_2 = 1,4$ мм.

Профиль лопатки выполняется с постоянной толщиной s_1 на протяжении 0,50 ... 0,60 длины средней линии. После этого следует плавное утонение до толщины s_2 . Кромки лопатки закругляются: входная радиусом $s_1/2$, а выходная $s_2/2$.

8. Окружная толщина входной кромки

$$s_1 := 5 \quad s_2 := 1.4$$

$$\Delta t_1 := \frac{s_1}{\sin\left(\beta_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = 5$$

9. Окружная толщина выходной кромки

$$\Delta t_2 := \frac{s_2}{\sin\left(32 \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = 2.2$$

10. Действительный коэффициент стеснения потока при входе в рабочее колесо

$$\tau_{1d} := \frac{t_1 - \Delta t_1}{t_1} = 0.84$$

11. Действительный коэффициент стеснения потока при выходе из рабочего колеса

$$\tau_{2d} := \frac{t_2 - \Delta t_2}{t_2} = 0.84$$

12. Уточненная ширина лопатки рабочего колеса при выходе

$$b_{2d} := b_2 \cdot 10^3 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_{2d}} = 25.6$$

В ходе выполнения раздела «Расчётная часть» были определены:

- Основные геометрические и режимные параметры турбодетандера;
- температура рабочего вещества при выходе из турбодетандера;
- КПД турбодетандера;
- мощность турбодетандера;

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Е41	Андрееву Роману Викторовичу

Школа	ИШПР	Отделение школы(НОЦ)	ОНД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Оклад руководителя проекта – 24264 руб. в месяц. - Оклад студента – 14584 руб. в месяц; - Человеческие ресурсы – 2 человека (руководитель и дипломник). - Материально-технические ресурсы - 47000 руб.
<i>1. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций в ходе выполнения операций согласно нормативных документов. 30 % премии к заработной плате 20 % надбавки за профессиональное мастерство 1,3 - районный коэффициент для расчета заработной платы.
<i>1. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	На основании пункта 425 ст. закона 27.11.2017 № 361-ФЗ. 3 для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность вводится пониженная ставка – 27,1% Страховые взносы и выплаты, производимые в пользу физических лиц за счет средств гранта (пункт 1 статьи 420 Налогового кодекса Российской Федерации) Ставка НДС 20%
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Методы коммерциализации результатов инженерных решений; - SWOT-анализ
<i>1. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	- Определение трудоемкости выполнения работ; - Расчет материальных затрат НИИ; - Основная и дополнительная зарплата исполнителей темы; - Отчисления во внебюджетные фонды; - Накладные расходы; - Проведение анализа безубыточности проекта
<i>1. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Расчет интегрального показателя финансовой эффективности.

Перечень графического материала:	
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
Профессор	Трубникова Наталья Валерьевна	д.и.н, доц		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Е41	Андреев Роман Викторович		

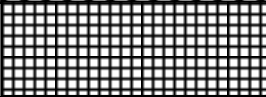
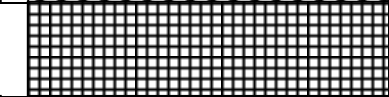
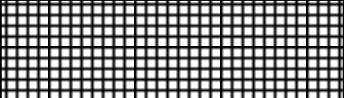
5 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1 Потенциальные потребители результатов исследований

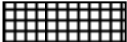
По оценкам специалистов, на территории РФ располагаются более 600 объектов газораспределительных станций и газорегуляторных пунктов, располагающих условиями для строительства и эксплуатации турбодетандерных агрегатов, которые могут вырабатывать от 10 до 20 млрд. кВт·ч электроэнергии в год.

Целью данного раздела является расчет ресурсоэффективности установки турбодетандерного агрегата на газораспределительной станции Казанского месторождения Томской области.

Таблица 4 – Карта сегментирования рынка

		Вид исследования: турбодетандер		
		Расчет и подбор турбодетандера	модель турбодетандера	Проектирование и конструирование турбодетандера
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			


Фирма А


Фирма Б


Фирма В

Таким образом, основным сегментом для данной разработки являются крупные компании, являющиеся, как правило, разработчиками нефтегазовых месторождений.

5.2 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 5 – Оценочная карта для конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		проект	Кон-т 1	Кон-т 2	проект	Кон-т 1	Кон-т 2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
2. Удобный в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
3. Помехоустойчивый	0,01	4	4	3	0,04	0,04	0,03
4. Энергосберегающий	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
5. Надежный	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
6. Безопасный	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
7. Простота эксплуатации	0,09	4	4	5	0,36	0,36	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	1	4	4	0,05	0,2	0,2
3. Цена	0,05	4	1	3	0,2	0,05	0,15
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
Итого	1	45	42	41	4,35	3,95	3,63

Оценка конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$П_{ср} = \sum B_i \cdot \bar{B}_i$$

Где:

$П_{ср}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

$\bar{B}_i$ – средневзвешенное значение i -го показателя.

По результатам оценки можно выделить следующие конкурентные преимущества модернизации турбодетандера: рост производительности

труда, повышенная надежность, длительный срок эксплуатации.

5.3 Технологии QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Таблица 6 - Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное Значения (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценка качества разработки					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,07	65	100	0,65	0,0455
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,13	75	100	0,75	0,0975
3. Помехоустойчивость	0,03	50	100	0,5	0,015
4. Энергоэкономичность	0,1	70	100	0,7	0,07
5. Надежность	0,2	100	100	1	0,2
6. Уровень шума	0,04	40	100	0,4	0,016
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Продукт	0,03	70	100	0,7	0,021
8. Уровень проникновения на рынок	0,04	80	100	0,7	0,032
9. Цена	0,06	45	100	0,45	0,027
10. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	100	100		0,1
Итого:	1	765	100	7,65	0,786

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{ср} = \sum B_i \cdot B_i$$

где $\Pi_{\text{ср}}$ –средневзвешенное значение показателя качества и перспективности . научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение $\Pi_{\text{ср}}$ - позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя $\Pi_{\text{ср}}$ получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

$$\Pi_{\text{ср}} = 75,9$$

Данное значение лежит в интервале от 60 до 79, следовательно, перспективность разработки проекта модернизации – выше среднего.

5.4 SWOT-анализ

Для получения четкой оценки проекта и его перспектив необходимо провести SWOT- анализ. SWOT - анализ - это определение сильных и слабых сторон проекта, а также возможностей и угроз, исходящих из ближайшего окружения (внешней среды).

Таблица 7 - SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экономичность и энергоэффективность проекта. С2. Простота, надежность и низкая металлоемкость конструкции. С3. Более низкая стоимость. С4. Актуальность разработки. С5. Отсутствие вредного воздействия на окружающую среду	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие работающего прототипа. Сл2. Один из методов решения рассмотрен недостаточно и нигде не использовался
Возможности: В1. Повышение стоимости конкурентных разработок В2. Стабильный интерес к технологии В3. Получение гранта для дальнейших исследований;	Большой потенциал применения обуславливается введением системы управления, мало распространенной на территории РФ и находящейся на уровне лучших зарубежных аналогов. Использование рассмотренной схемы может увеличить добычу газа больше чем на 50 %, так как требуется меньший перепад давления	Санкции, наложенные на РФ, и высокий курс евро/доллара будут ограничивать появление новых иностранных технологий на российском рынке
	Срок окупаемости предлагаемого технического решения от 2 до 3 лет, так как количество вырабатываемой электроэнергии в предложенной схеме в 2,7 раз больше	
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии. У2. Развитая конкуренция. У3. Сложность перехода на новую систему.	Конкурентные исследования могут обладать более точными данными по анализу, что может позволить провести более глубокий анализ и точно определить влияние колебаний; Новая система управления и актуальность разработки не сказываются на спросе	Медленный ввод данной системы в эксплуатацию позволит переждать возможных скачков на рынке спроса.

5.5 Планирование научно-исследовательских работ

5.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

При организации научно-исследовательской работы необходимо планировать занятость каждого участника и определить сроки выполнения этапов работ. При реализации проекта рассматриваются два исполнителя: руководитель (Р), студент (С). Выделенные этапы представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель Студент
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
	3	Подбор и изучение литературы по теме	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Бакалавр
Теоретические и расчетные исследования	5	Поиск необходимых технических решений для повышения эффективности работы турбодетандеров	Бакалавр
	6	Проведение работы турбодетандеров	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка результатов исследования	Руководитель, Бакалавр
Оформления отчета по исследовательской работе	8	Составление пояснительной записки	Руководитель, Бакалавр

5.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях выполняется по формуле:

$$T_{\text{РД}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K$$

где

$t_{\text{ож}}$ – трудоемкость работы, чел/дн;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1,2$);

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

где

$t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1,2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}$$

где

$T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}}$$

где

$T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 104$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 14$);

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 118} = 1,478$$

Для расчета ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется две оценки: t_{min} и t_{max} (метод двух оценок).

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}$$

где

t_{min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн;

t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Из расчета ожидаемой трудоемкости работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{T_{ожi}}{Чi}$$

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

$T_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.\дн;

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

5.5.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения диаграммы Ганта, переведем длительность каждого из этапов работ в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot T_k$$

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

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

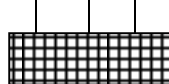
T_k – коэффициент календарности.

Таблица 8 - Временные показатели проведения научного исследования

№ работ	Трудоемкость работ						Исполнители	T _{pi}	T _{ki}
	t _{mini}		t _{maxi}		t _{ожи}				
	C	P	C	P	C	P		C+P	C+P
1	2	1	3	2	2,4	1,4	2	1,9	2,81
2	10	3	17	5	12,8	3,8	2	8,3	12,27
3	5	2	7	3	5,8	2,4	2	4,1	6,06
4	2	0	3	0	2,4	0	2	1,2	1,77
5	3	0	5	0	3,8	0	1	3,8	5,62
6	40	0	60	0	48	0	1	48	70,94
7	2	2	3	3	2,4	2,4	2	2,4	3,55
8	2	2	3	3	2,4	2,4	2	2,4	3,55
9	7	0	10	0	8,2	0	1	8,2	12,12
Итого:	73	10	111	16	88,2	12,4		80,3	118,68

На основании таблицы 8 построим диаграмму Ганта (таблица 9), представляющую из себя ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Таблица 9 – Календарный план – график проведения НИОКР по теме:

Вид работ	Исполнители	Т _к , кал дн.	Продолжительность выполнения работ														
			Янв.		Февр.			Март			Апрель			Май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Изучение литературы, составление литературного обзора	Бакалавр, руководитель	34															
																	
Расчет работы турбодетандеро в	Бакалавр	17															
Обсуждение полученных результатов	Бакалавр, руководитель	12															
																	
Оформление выводов	Бакалавр, руководитель	10															
																	
Оформление пояснительной записки	Бакалавр, руководитель	21															
																	



-научный руководитель



-бакалавр

5.6 Бюджет научно-технического исследования

5.6.1 Расчет материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i + N_{рас\ xi},$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы примем в размере 10% от стоимости материалов.

Для разработки проекта модернизации необходимы следующие материальные ресурсы: мышь, принтер, бумага, канцелярские принадлежности.

Таблица 10 - Материальные затраты

Наименование	Ед. измер.	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), тыс.руб.		
		Исп. 1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Принтер	шт	1	1	1	15000	12000	15000	15000	12000	15000
Компьютер	шт	1	0	0	32000	0	0	32000	0	0
Итого:								47000	12000	15000

5.6.2 Основная заработная плата исполнителей

По данной статье расходов планируется и учитывается основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в разработке проекта модернизации:

$$C_{\text{осн зп}} = \sum t_i \cdot C_{\text{зп}_i}$$

где

t_i - затраты труда, необходимые для выполнения i -го вида работ, в рабочих днях;

$C_{\text{зп}_i}$ - среднедневная заработная плата работника, выполняющего i -ый вид работ, (руб./день).

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{\text{зп}_i} = \frac{D + D \cdot K}{F}$$

где D – месячный оклад работника (в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы);

K - районный коэффициент (для Томска – 30%);

F – количество рабочих дней в месяце (в среднем 22 дня).

Расходы на основную заработную плату определяются как произведение трудоемкости работ каждого исполнителя на среднедневную заработную плату.

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.		
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент	2	3	2	2,55	5,1	7,65	5,1
2	Выбор темы	Руководитель,	13	15	14	2,55	33,15	38,25	35,7

	исследований	студент							
3	Разработка и проектирование модернизации	Студент	16	20	22	1,2	19,2	24	26,4
4	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, студент	22	22	22	2,55	56,1	56,1	56,1
5	Составление пояснительной записки	Студент	13	12	13	2,55	33,15	30,6	33,15
Итого:							146,7	156,6	156,45

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{\text{п}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

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

Основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = T_{\text{р}} \cdot З_{\text{дн}}$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{45364,8 \cdot 10,4}{185} = 2130,59 \text{ руб}$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

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

Таблица 12 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	62	72
Действительный годовой фонд рабочего времени	185	175

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 24264 \cdot (1 + 0,2 + 0,3) \cdot 1,3 = 47314 \text{ руб}$$

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

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,2 (т.е. 20% от $З_{тс}$);

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

Таблица 13 – Основная заработная плата

Исполнители	$З_{тс}$, тыс. руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, тыс. руб.	$З_{дн}$, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	$З_{осн}$, тыс. руб.
Руководитель	24264	0,2	0,3	1,3	45365	2062,04	10	21620,36
Студент	14584	0	0	1,3	18959	861,78	56	48259,78
Итого:								68880,15

Тарифная заработная плата $З_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

За основу оклада берется ставка работника ТПУ, согласно занимаемой должности. Из таблицы окладов для доцента (степень – кандидат наук) – 24264 руб., для ассистента (степень отсутствует) – 14584 руб.

Таблица 14- Расчет основной заработной платы для исполнения 2

Исполнители	Зтс, тыс. руб.	кпр	кд	кр	Зм, тыс. руб.	Здн, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, тыс. руб.
Руководитель	24264	0,2	0,3	1,3	45365	2062,04	12	22744,44
Студент	14584	0	0	1,3	18959	861,78	60	51706,91
Итого:								76451,35

Таблица 15 - Расчет основной заработной платы для исполнения 3

Исполнители	Зтс, тыс. руб.	кпр	кд	кр	Зм, тыс. руб.	Здн, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, тыс. руб.
Руководитель	24264	0,2	0,3	1,3	45365	2062,04	10	21620,36
Студент	14584	0	0	1,3	18959	861,78	63	54292,25
Итого:								74912,62

5.6.3 Дополнительная заработная плата исполнителей

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

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

Таблица 16 - Дополнительная заработная плата

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Коэффициент дополнительно	Дополнительная заработная плата, руб.
-------------	---------------------------------	---------------------------	---------------------------------------

	Исполнитель 1	Исполнитель 2	Исполнитель 3	И заработная плата	Исполнитель 1	Исполнитель 2	Исполнитель 3
Руководитель	20620,36	24744,44	20620,36	0,15	3093,05	3711,67	3093,05
Студент	48259,78	51706,91	54292,25		7238,97	7756,04	8143,84
Итого:					10332,02	11467,70	11236,89

5.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений по внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На основании пункта 425 ст. закона 27.11.2017 № 361-ФЗ. 3 для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность вводится пониженная ставка – 27,1%

Таблица 17 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.			Отчисления во внебюджетные фонды		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	20620,36	24744,44	20620,36	3093,05	3711,67	3093,05	7114,02	8536,83	7114,02
Студент	48259,78	51706,91	54292,25	7238,97	7756,04	8143,84	16649,63	17838,89	18730,83
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3								
Итого							23763,65	26375,72	25844,85

5.6.5 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы 16%.

$$З_{\text{накл}} (1) = (650000 + 20620,36 + 48259,78 + 10332,05 + 23763,65) \cdot 16 = 120476 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{накл}} (2) = (730000 + 24744,44 + 51706,91 + 11467,7 + 26375,72) \cdot 16 = 135087 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{накл}} (3) = (850000 + 20620,36 + 54292,25 + 11236,89 + 25844,85) \cdot 16 = 153919 \text{ руб.}$$

5.6.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 18.

Таблица 18 - Бюджет затрат на НИР

Наименование статьи	Сумма, руб. (исполнение 1)	Сумма, руб. (исполнение 2)	Сумма, руб. (исполнение 2)
Материальные затраты	47000	12000	15000
Основная заработная плата	68880,15	76451,35	74912,62
Дополнительная заработная плата	10332,02	11467,7	11236,89
Страховые взносы	23763,65	26375,72	25844,85
Накладные расходы	120476	135087	153919
Итого:	270451,82	261381,77	280 913,36

Бюджет затрат НТИ по второму варианту составил 261381,77 рублей, что ниже затрат по первому и третьему варианту. Наибольшие затраты

приходятся на приобретение оборудования.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Для 1-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{53416451,82}{53426913,36} = 0,998$$

Для 2-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{53407381,77}{53426913,36} = 0,996$$

Для 3-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{53426913,36}{53426913,36} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Таблиц 19 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0.2	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.2	5	4	3
3. Помехоустойчивость	0.1	5	3	3
4. Энергосбережение	0.2	4	3	3
5. Надежность	0.1	4	4	4
6. Материалоемкость	0.2	4	4	4
ИТОГО:	1	27	22	20

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p - \text{исп1} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 4,5$$

$$I_p - \text{исп2} = 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 3,7$$

$$I_p - \text{исп3} = 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 3,3$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{исп1}}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.проект}} = \frac{I_{\text{тек.проект}}}{I_{\text{ф}}^p} = \frac{4,5}{0,998} = 4,51$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{I_{p-\text{исп1}}}{I_{\text{ф}}^{a1}} = \frac{3,7}{0,996} = 3,701$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{ф}}^{a2}} = \frac{3,3}{1} = 3,3$$

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^{\text{тек.проект}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}} = \frac{4,51}{3,3} = 1,37$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^{\text{тек.проект}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{3,701}{3,3} = 1,12$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^{\text{тек.проект}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп3}}} = \frac{3,3}{3,3} = 1$$

Таблица 20 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,998	0,996	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,7	3,3
3	Интегральный показатель эффективности	4,51	3,701	3,3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,37	1,12	1

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения, был произведен SWOT-анализ. Также был посчитан бюджет НИИ.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-Е41	Андреев Роман Викторович

Школа	Природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	«Нефтегазового дела»
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.02 «Технологические машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Объектом исследования является установка комплексной подготовки газа. Область применения – в газораспределительных отраслях. Рабочим местом является дом оператора на территории установки комплексной подготовки газа и все его технологические узлы
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	– ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности – ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования – Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений" (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г. N 21) – ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация – ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1) – ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

	– Трудовой кодекс Российской Федерации (ред. 01.04.2019)
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Вредные и опасные факторы: – вредные вещества; – производственный шум; – освещенность; – повышенный уровень УФ радиации; – повышенный уровень ИК радиации; – повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов; – повышенная или пониженная температура воздуха рабочей среды
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Опасные факторы: – механическое травмирование; – электробезопасность на рабочем месте; – пожаровзрывоопасность;
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	При эксплуатации установки комплексной подготовки газа воздействия на окружающую среду оказывают как производственные процессы, так и объекты постоянного и временного назначения: – загрязнение атмосферного воздуха; – нарушение гидрогеологического режима; – загрязнение поверхностных водных источников и подземных вод; – повреждение почвенно-растительного слоя;
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Чрезвычайные ситуации на установке комплексной подготовки газа могут возникнуть в результате работы неисправного оборудования, стихийных бедствий и террористических атак. Рассмотреть наиболее вероятную чрезвычайную ситуацию. Разработать меры по предупреждению ЧС и план действий в результате возникшей ЧС и ликвидаций ее последствий.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные правовые нормы трудового законодательства (на основе инструкции по охране труда при производстве инженерно-геологических изысканий); – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны (организация санитарно-бытового обслуживания рабочих).
Перечень графического материала:	

При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	
--	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООТД ШБИП ТПУ	Черемискина М.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Е41	Андреев Роман Викторович		

6 Социальная ответственность

Объектом исследования в данной работе является установка комплексной подготовки газа Казанского нефтегазового месторождения.

Область применения: технология низкотемпературной сепарации с применением турбодетандерного агрегата.

Системы транспорта природного газа являются опасными производственными объектами, а процесс их эксплуатации несет в себе ряд опасностей. Объектами, на которые действует риск негативного влияния эксплуатации газоперекачивающих систем, являются рабочий персонал, местные жители, жилые и промышленные объекты, а также окружающая среда. Основными опасными и вредными производственными факторами при эксплуатации газораспределительных станций являются:

- давление газа в действующих коммуникациях;
- возможность разрушения трубопровода (элементов и оборудования), происходящего совместно с разлетом осколков металла и грунта;
- возможность возгорания продукта при разрушении трубопровода, оборудования;
- возможность взрыва газовоздушной смеси;
- повышенный уровень шума и вибраций.

Наиболее опасными техническими устройствами являются машины, технологическое оборудование, системы машин и (или) оборудования, агрегаты, аппаратура, механизмы.

6.1 Производственная безопасность

Таблица 21 – Нормативная база производственной безопасности

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.1.003-15[1])		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Периодический обход и осмотр УКПГ и вспомогательного оборудования	1.Повышенный уровень шума		ГОСТ 12.1.003-2015 [1] ГОСТ 12.1.029-80 [2]
	2.Повышенный уровень вибрации		ГОСТ 12.1.012-2004 [3] СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [4]
Оперативный контроль за технологическим и процессами операторной УКПГ	1.Отклонение показателей микроклимата в помещении.		СанПиН 2.2.4.548-96 [3] СНиП 41-01-2003 [14]
	2.Недостаточная освещённость		ГОСТ 12.0.003 – 2015[1]
		1.Электрический ток, повышенное значение напряжения	ГОСТ Р 12.1.019-2009 [15] ГОСТ 12.1.030-81 [16]
		2.Пожароопасность	СНиП 2.01.02-85 [17] НПБ 110-03 [18]

6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

К вредным производственным факторам в ходе эксплуатации и обслуживании объектов добычи газа, и их подготовке к транспорту относятся:

1. Производственный шум. Рабочий процесс на УКПГ происходит в условиях повышенного шумового фона.

Эквивалентный уровень шума Согласно ГОСТ 12.1.003 – 2014 не должен превышать 80 дБ, а редуцирования газа шум колеблется в пределах 105-110 дБ.

2. Повышенный уровень вибрации.

Качественные и количественные критерии и показатели неблагоприятного воздействия вибрации на человека-оператора в процессе труда устанавливаются санитарными нормами, правилами в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [14] вибрация соответствует 3 категории типа «в» - технологическая вибрация.

В соответствии с ними вводятся следующие критерии оценки неблагоприятного воздействия вибрации:

- критерий «безопасность», обеспечивающий ненарушение здоровья оператора;
- критерий «граница снижения производительности труда», обеспечивающий поддержание нормативной производительности труда оператора;
- критерий «комфорт», обеспечивающий оператору ощущение комфортности условий труда при полном отсутствии мешающего действия вибрации.

3. Отклонение показателей микроклимата производственных помещений на рабочем месте.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- Температура воздуха;
- Температура поверхностей;

- Относительная влажность воздуха;
- Скорость движения воздуха;
- Интенсивность теплового облучения.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 22, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года [3]. Параметры микроклимата в рабочей зоне операторной УКПГ необходимо поддерживать по СанПиН 2.2.4.548-96 [11] в соответствии с категорией работ.

Таблица 22 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах [3]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Па (175 - 232)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	Пб (233 - 290)	17 - 19	16 - 20	60 - 40	0,2
	Пп (более 290)	16 - 18	15 - 19	60 - 40	0,3
Теплый	Па (175 - 232)	20 - 22	19 - 23	60 - 40	0,2
	Пб (233 - 290)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	Пп (более 290)	18 - 20	17 - 21	60 - 40	0,3

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 6.3, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года [3].

Таблица 23 – Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах [3]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная Влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Па (175 -232)	17,0 - 18,9	21,1 - 23,0	16,0 - 24,0	15 - 75	0,1	0,3
	Пб (233 -290)	15,0 - 16,9	19,1 - 22,0	14,0 - 23,0	15 - 75	0,2	0,4
	III (более 290)	13,0 - 15,9	18,1 - 21,0	12,0 - 22,0	15 - 75	0,2	0,4
Теплый	Па (175 -232)	18,0 - 19,9	22,1 - 27,0	17,0 - 28,0	15 - 75	0,1	0,4
	Пб (233 -290)	16,0 - 18,9	21,1 - 27,0	15,0 - 28,0	15 - 75	0,2	0,5
	III (более 290)	15,0 - 17,9	20,1 - 26,0	14,0 - 27,0	15 - 75	0,2	0,5

4. Освещенность рабочей зоны.

Согласно ГОСТ 12.0.003 – 2015 недостаточная освещенность рабочей зоны является вредным производственным фактором, который может вызвать слепоту, привести к быстрому утомлению и снижению работоспособности. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму.

К средствам нормализации освещенности производственных помещений рабочих мест относятся: источники света, осветительные приборы, световые проемы, светозащитные устройства, светофильтры, защитные очки [4].

5. Вредные вещества. В процессе производственных операций рабочие могут подвергаться воздействию паров газа, метанола и диэтиленгликоля, источником которых являются нарушения герметичности фланцевых соединений.

Для контроля уровня загазованности газовой среды используются специальные приборы – газоанализаторы. Количество вредных примесей в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно- допустимых концентраций согласно ГОСТ 12.1.005-88 [5].

Коллективные средства защиты: вытяжная вентиляция, а также устройства, препятствующие появлению работника в опасной зоне [5].

6. Механическое травмирование. Наиболее опасными участками относительно получения травм механическим способом являются зоны, расположенные в непосредственной близости от трубопроводов и оборудования, работающего под давлением, куда также входит и рампла азота, где находятся баллоны, заполненные азотом, необходимым для продувки трубопровода при проведении ремонтных операций.

6.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве

К вредным производственным факторам в ходе эксплуатации и обслуживании установки низкотемпературной сепарации «турбодетандера» можно отнести:

1. Помещение операторной УКПГ по степени опасности поражения персонала электрическим током относится по ГОСТ Р 12.1.019-2009 [15] к помещениям с повышенной опасностью:

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током, от действия электрической дуги и т. п. все электроустановки должны быть снабжены средствами защиты, а также средствами оказания первой помощи в соответствии с Правилами применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках.

Защитное заземление или зануление, в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81 [16], должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

В соответствии с правилами устройства электроустановок выполнена защита электрооборудования, электропроводки (в том числе заземления) от механических воздействий, проникновения растворителей.

2. Пожаровзрывоопасность. Одной из особенностей пожара на промысле, является горение паровоздушных смесей углеводородов, и как следствие образование огневого шара, время которого колеблется от нескольких секунд до нескольких минут. Опасным фактором огневого шара является тепловой импульс. Размеры шара, время его существования и величина теплового импульса зависят от количества сгораемого вещества. На газовых месторождениях наиболее взрывоопасным веществом является метан.

На площадке УКПГ Казанского нефтегазового месторождения пожаротушение обеспечивается автоматическими установками пожаротушения тонкораспыленной водой, автоматическими модульными установками порошкового и газового пожаротушения и системой водяного пожаротушения от сети противопожарного водопровода. Помещения операторной оборудованы системой стационарного пожаротушения в соответствии с СНиП 2.01.02-85 [17] и НПБ 110-03 [18]

Для ликвидации пожаров на территории месторождения имеется ведомственная пожарная часть.

6.2 Экологическая безопасность

Практически все проектируемые на УКПГ объекты будут оказывать в той или иной степени воздействие на окружающую среду.

6.2.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу

Воздействие на атмосферный воздух при строительстве и эксплуатации объектов на Казанского нефтегазового месторождении происходят в результате выбросов:

- газообразных, аэрозольных и взвешенных веществ от технологического оборудования;
- продуктов сгорания топлива от дымовых труб котельных;
- выхлопных газов автомобильного транспорта.

Анализ данных по разрабатываемым газовым месторождениям показывает, что основной объем (99%) выбросов от стационарных источников составляют оксиды углерода и азота, метан и другие углеводороды. Природоохранные мероприятия:

1) Для уменьшения выбросов окислов азота соблюдается оптимальный

режим горения в камере сгорания;

2) Поддержание технологического оборудования в исправном состоянии.

6.2.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу

К основным источникам и видам воздействия на водные объекты относятся:

- попадание в водотоки целлюлозы из захороненных на трассах древесных остатков;
- засорение и заиление русел рек и ручьев при строительстве;
- нарушение гидрологии малых рек, водоемов из-за устройства временных проездов, непроектной прокладки трубопроводов;

В целях уменьшения отрицательного воздействия предприятия на гидросферу на площадке построены отдельные сети хоз.бытовой и производственной канализации. Все сточные воды подаются на очистные сооружения ЦПС. Кроме того, производится сброс сточных вод, после предварительной подготовки их на очистных сооружениях УКПГ, в поверхностные водные объекты и сеноманский поглощающий горизонт.

6.2.3 Анализ воздействия объекта на литосферу

На газовых месторождениях образуются следующие виды отходов:

- твердые бытовые отходы;
- моторные масла;

- нефтешлам с установок очистки сточных вод от мехпримесей и нефтепродуктов;
- шламы от зачистки резервуаров хранения масел и светлых нефтепродуктов;
- избыточный активный ил с биологических очистных сооружений;
- металлолом;
- люминесцентные лампы;
- аккумуляторы (свинцово-кислотные).

На объектах предприятия ОАО «Томскгазпром», приказом назначено лицо, ответственное за сбор, транспортировку, хранение и отгрузку отходов на полигон разработана инструкция по сбору, хранению (в соответствии с физическим состоянием и классом опасности отхода) и отгрузке (транспортировке) отходов, исключаящих их россыпь, пролив, самовозгорание и взрыв.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на УКПГ Казанского нефтегазового месторождения:

1. Природного характера:
 - торфяные пожары;
 - ураганы и метели.
2. Техногенного характера:
 - пожары на технологических объектах;
 - утечки токсичных и взрывопожароопасных веществ (метан, метанол, ТЭГ).

На УКПГ возможно возникновение следующих чрезвычайных ситуаций:

- пожар на территории;

- разрыв газопровода и утечка газа на территории УКПГ или узла подключения;

- пожар в отсеке турбодетандера;

Для предотвращения возникновения аварийных ситуаций необходимо:

- строгое соблюдение технологического процесса;
- строгое соблюдение правил техники безопасности, инструкций, нормативов по пожарной охране и промышленной санитарии;
- предотвращение образования взрывоопасных концентраций;
- своевременное проведение профилактических мероприятий и поддержание надёжной работы оборудования;

При всех возникших ЧС персонал, не участвующий в ликвидации последствий должен эвакуироваться согласно утвержденному плану.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Организация труда на рассматриваемом объекте предусматривает применение вахтового метода обслуживания. Режим труда и отдыха при работе вахтовым методом регламентируется статьей 301 Трудового Кодекса РФ [10]. Режим труда и отдыха на проектируемом объекте регламентируется Трудовым Кодексом РФ, Коллективным договором ОАО «Томскгазпром», утвержденным конференцией работников ОАО «Томскгазпром», 06.03.2010 г. (раздел 4 «Рабочее время и время отдыха»).

Работа в ночное время регулируется статьей 96 Трудового Кодекса РФ [10]. Ночное время – время с 22 часов до 6 часов. Особенности регулирования труда лиц, работающих в районах

Крайнего Севера и приравненных к ним местностям регламентируются главой 50 Трудового Кодекса РФ (глава 50) [10].

Работникам, работающим в холодное время года на открытом воздухе в соответствии со статьей 109 Трудового Кодекса РФ [10] предоставляются специальные перерывы для обогрева и отдыха, которые включаются в рабочее время СанПиН 2.2.4.548-96 [4]

В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» было рассмотрено рабочее место оператора УКПГ на предмет возникновения вредных и опасных проявлений факторов производственной среды, негативного воздействия на окружающую природную среду, чрезвычайных ситуаций.

Внедрение на производстве разработанных и предложенных мер позволит снизить воздействие вредных и опасных факторов на работников, снизить негативное воздействие на окружающую среду и обеспечить безопасную организацию рабочего места.

Заключение

Впервые турбодетандеры начали применяться в схемах для получения сжиженного кислорода из воздуха. Турбодетандеры представляют собой турбомашины, используемые для расширения газов. Название турбодетандер состоит из двух слов «турбина» - лопаточный двигатель, преобразующий энергию потока рабочей среды в механическую, и «детандер» – расширять сжатое. Отличие турбины от турбодетандера заключается в том, что основное назначение турбины это выработка механической энергии, а основное назначение турбодетандера это производство холода.

Турбодетандеры применяются на ГКМ в установках комплексной подготовки газа (УКПГ), где необходима осушка, очистка или извлечение низкокипящих углеводородных компонентов. Содержание метана в таких составах газа на входе в установку меньше 90% объёмных, на выходе из установки более 90% объёмных. Температура газа на выходе из турбодетандера в этих схемах достигается обычно от минус 10 до минус 70 °С (в зависимости от назначения).

Объектом бакалаврской работы являлся турбодетандер-компрессор модели L-2000 тип 2000-5E7C, применяемый на Казанском нефтегазоконденсатном месторождении ОАО «Томскгазпром».

В данной работе рассмотрены основные теоретические положения о турбодетандере модели L-2000 тип 2000-5E7C, проанализирована и изучена установка комплексной подготовки газа на Казанском НГКМ.

Подготовка попутного нефтяного газа на УКПГиК Казанского НГКМ, в соответствии с требованиями СТО Газпром 089–2010, предусмотрена по технологии низкотемпературной сепарации с применением турбодетандерного агрегата. Также предусмотрена возможность кратковременной работы, при неисправности ТДА, через низкотемпературный клапан с получением дроссельного эффекта Джоуля–

Томсона. Подготовка газового конденсата осуществляется на установке стабилизации конденсата.

В бакалаврской работе поставлена и решена задача, направленная на повышение эффективности использования турбодетандеров в технологических схемах для газовой промышленности с целью улучшения эксплуатационных характеристик газовых комплексов. Решение этой задачи позволило получить важные научные и практические результаты.

Список использованных источников

1. ГОСТ 12.1.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности
2. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования
3. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
4. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление
5. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
6. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1)
7. Методические указания по обследованию подъемных установок для ремонта и освоения скважин с истекшим сроком службы с целью продления срока их дальнейшей эксплуатации 5099-00.001 МУ
8. Методические указания о порядке разработки плана локализации и ликвидации аварийных ситуаций на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств.
9. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений" (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г. N 21)
10. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование.
11. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
12. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование.

13. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы.
14. СНиП 2.01.02-85* Противопожарные нормы.
15. НПБ 110-03 Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией.
16. Трудовой кодекс Российской Федерации (ред. 01.04.2019)
17. Абианц В.Х. Теория авиационных газовых турбин. М.: Машиностроение, 1979. 246 с.
18. Берлин М.А. Переработка природных и нефтяных газов / М.А. Берлин, В.Г. Гореченков, Н.П. Волков. – М.: Химия, 1981. – 473 с.
19. Бойко А.В. Оптимальне проектування турбомашин (основи теорії, розрахунк, експеримент) / А.В. Бойко. – Х.: НТУ "ХПІ", 2011. – 384 с.
20. Бумагин Г.И. Криогенные машины: учебное пособие / Г.И. Бумагин. – Омск: ОмГТУ, 2007. – 216 с. – ISBN 5-8149-0492-5.
21. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов / Г.С. Жирицкий, Д.В. Локай, М.К. МаксUTOва и др. М.: Машино-строение, 1971. 620 с.
22. Гура Л.А. Газоперекачивающие станции магистральных газопроводов / Л.А. Гура. - М.: НТУ "ХПИ", 2006. - 182 с.
23. Давыдов А.Б. К расчету характеристик радиальных турбодетандеров при больших степенях расширения / А.Б. Давыдов, А.Н. Шерстюк, Т.М. Розеноер // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1983. – № 3.– С. 27–29.
24. Дунаев В.Ф. Экономика предприятий нефтяной и газовой промышленности / Дунаев В.Ф. - М.: Нефть и газ». 2006. - 352 с.
25. Елифанова В.И. Компрессорные и расширительные турбомашини радиального типа / В.И. Елифанова. – М.: МВТУ им. Н. Баумана, 1998. – 376 с.

26. Кубанов А.Н. Перспективы использования турбохолодильной техники на объектах добычи газа / А.Н. Кубанов, В.А. Хетагуров, Ф.М. Дедученко // Газовая промышленность. – 2004 – № 12. – С. 65–68.

27. Куличихин В.В. Использование избыточного давления природного газа на промышленных предприятиях / В.В. Куличихин, О.О. Лазарева // Надежность и безопасность энергетики. – 2010. – № 9. – С. 48–54.

28. Клименко А.П. Разделение природных углеводородных газов / А.П. Клименко. – Киев: Техника, 1964. – 380 с.

29. Леонов В.П. Профилирование лопаток объемной кривизны рабочих колес турбомашин: методическое пособие / В.П. Леонов – М.: МГТУ им. Н. Баумана, 2000. – 16 с.

30. Моисеев С.В. Выбор оптимальных номинальных параметров УТДУ для работы на ГРС / С.В. Моисеев, А.В. Бурняшев, В.П. Сарапин // Научные работы: Техногенная безопасность. – Николаев: ЧДУ им. П. Могила, 2007. – Т. 77, №64. – С. 49-52.

31. О равновесии процесса конденсации природного газа в турбодетандере / Е.А. Мурунов [и др.] // Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. – 1972. – № 8. – С. 21–24.

32. Пат. 41098 Украина, МПК (2009) F25B 11/00. Полезная модель. Утили- ных турбодетандерных установок / С.В. Моисеев, А. В. Бурняшев, В.В. Вишек, В.В. Плахотник, В.П. Сарапин; заявитель и патентообладатель ОАО "Турбогаз". - № и 2008 11636; заявл. 29.09.2008; опубл. 12.05.2009, Бюл. №9 .: ил.

33. Соколов Ю.Н. Основы единой теории лопастных машин / Ю.Н. Соколов.– Томск: Томский университет, 1973. – 218 с.

34. Степанец А.А. Об эффективности детандер-генераторных агрегатов в тепловой схеме ТЭЦ / А.А. Степанец // Энергетик. – 1999. - №4. – С. 24- 32.

35. Твердохлебов В.И. Агрегаты блочные турбодетандерные типа БТДА- 5-СУГ, карта технического уровня и качества продукции, ВНПО

"Союзтурбогаз" / В.И. Твердохлебов // Надежное оборудование для газовой промышленности. – 1990. – № 29.– С. 30–36.

36. Теория и расчет авиационных лопаточных машин / К.В. Холщевников, О.Н. Емин, В.Т. Митрохин. М.: Машиностроение, 1986. 432 с.

37. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин / Под ред. И.А. Сакуна. Л.: Машиностроение, 1987. 423 с.

38. Техника и технология промысловой обработки углеводородного сырья / А.М. Сироткин, Е.Н. Туревский, Ю.А. Лаухин [и др.] // Газовая промышленность. – 1999. – № 6.– С. 12–20.

39. Холодильные машины / Под ред. Л.С. Тимофеевского. СПб.: Политехника, 2006. 944 с.

40. Холодильные машины / Под ред. Л.С. Тимофеевского. СПб.: Политехника, 1997. 992 с.

41. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ. / Под ред. С.Н. Богданова. СПб.: СПбГАХПТ, 1999. 320 с.