

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»  
 Отделение нефтегазового дела

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема работы
«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газосжатой станции в условиях низких температур.» УДК 621.646:622.691.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ11	Никифоров Николай Васильевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Никульчиков В. К.	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Шарф И. В.	д.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин А. А.	к.т.н., доцент		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Шадрина А. В.	д.т.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

21.04.01 Нефтегазовое дело Образовательная программа Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в нефтегазовой области
ОПК(У)-2	Способен осуществлять проектирование объектов нефтегазового производства
ОПК(У)-3	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК(У)-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК(У)-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в нефтегазовой отрасли и смежных областях
ОПК(У)-6	Способен участвовать в реализации основных и дополнительных профессиональных образовательных программ, используя специальные научные и профессиональные знания
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать методическое обеспечение для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области трубопроводного транспорта углеводородов
ПК(У)-2	Способность анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль, техническое сопровождение и управление технологическими процессами в трубопроводном транспорте нефти и газа
ПК(У)-3	Способность оценивать экономическую эффективность инновационных решений в области трубопроводного транспорта углеводородов
ПК(У)-4	Способность обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли
ПК(У)-5	Способность участвовать в управлении технологическими

	комплексами, принимать решения в условиях неопределенности
<b>ПК(У)-6</b>	Способность применять полученные знания для разработки и реализации проектов, различных процессов производственной деятельности на основе методики проектирования в нефтегазовой отрасли, а также инструктивно-нормативных документов
<b>ПК(У)-7</b>	Способность применять современные программные комплексы для проектирования технических устройств, аппаратов и механизмов, технологических процессов в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
Профиль «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»  
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП ОНД ИШПР

\_\_\_\_\_     \_\_\_\_\_     А.В. Шадрина  
 (Подпись)     (Дата)     (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

выпускной квалификационной работы
-----------------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ11	Никифорову Николаю Васильевичу

Тема работы:

Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газокompрессорной станции в условиях низких температур	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	06.02.2023 г. № 37–59/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Нормативно-техническая документация, научные статьи отечественных и зарубежных исследователей, монографии, учебники, методические пособия, исполнительно – проектная документация.</i></p> <p><i>Объект исследования: отсечной кран газоперекачивающего агрегат газокompрессорной станции</i></p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><i>Обзор литературы по теме исследования.</i></p> <p><i>Выполнить оценку эксплуатационных особенностей компрессорных станций в условиях низких температур.</i></p> <p><i>Выполнить анализ существующих видов систем обогрева в нефтегазовой промышленности.</i></p> <p><i>Провести теплотехнический расчет стационарного температурного поля корпуса шарового крана при обогреве пленочным электронагревателем</i></p>
--	---

<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Рисунки – 17 Таблицы – 14</p>
---	--------------------------------------

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

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Шарф Ирина Валерьевна, профессор, д.э.н.
«Социальная ответственность»	Сечин Андрей Александрович, доцент, к.т.н.
Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШПИБ	Айкина Татьяна Юрьевна, доцент, к.ф.н.

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Разделы на русском языке: реферат, введение, разделы 1–5, заключение/
Разделы на английском языке: приложение I.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Никульчиков Виктор Кенсоринович	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ11	Никифоров Николай Васильевич		

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»  
 Отделение нефтегазового дела  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

Форма представления работы:

Выпускная квалификационная работа

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.01.2023	<i>Обзор литературы</i>	10
21.02.2023	<i>Анализ существующих видов нагрева в нефтегазовой промышленности</i>	15
01.03.2023	<i>Изучение особенностей района исследования</i>	15
20.04.2023	<i>Выполнение расчетов, моделирования</i>	20
26.04.2023	<i>Раздел на иностранном языке</i>	10
10.05.2023	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
28.05.2023	<i>Социальная ответственность</i>	10
01.06.2023	<i>Заключение</i>	5
06.06.2023	<i>Презентация</i>	5
	<i>Итого:</i>	100

Составил:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Никulichиков Виктор Кенсоринович	к.т.н, доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Шадрина А. В.	д.т.н, доцент		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
2БМ11		Никифоров Николай Васильевич	
<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОНД</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	21.04.01 Нефтегазовое дело / Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов

Тема ВКР:

Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газокompрессорной станции в условиях низких температур.

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

#### Введение

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации

*Объектом исследования: ЗРА технологического оборудования КС*

*Область применения: компрессорные станции МГ*

*Рабочая зона: производственный объект*

*Размеры производственного объекта: 300×180*

*Количество и наименование оборудования рабочей зоны: ГПА, АВО, краны шаровые, фильтры, воздухоотделители.*

*Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: компримирование газа, монтажные работы*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

#### 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

*1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)*

*2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов"*

#### 2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:

- Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов

*Вредные производственные факторы:*

*–превышение шума*

*–превышение уровней вибрации*

*–отклонение показателей микроклимата*

*–недостаточная освещенность рабочей зоны*

*–повышенная запыленность и загазованность рабочей зона*

*Опасные производственные факторы:*

*–движущиеся машины и механизмы производственного оборудования*

*–электрический ток*

*–оборудование и трубопроводы, работающие под давлением*

<p><b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <p>– расчет удельных выбросов стравливаемого газа при останове ГПА</p>	<p><i>Воздействие на литосферу: загрязнение почвы производственными отходами</i>  <i>Воздействие на гидросферу: загрязнение сточными водами и производственных отходов</i>  <i>Воздействие на атмосферу выбросы природного газа, сжигание отходов производства, выхлопные газы ГТУ, выбросы пыли и токсичных газов</i></p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b></p>	<p><i>Возможные ЧС: пожар на объекте, авария на объекте, попадание молнии.</i>  <i>Наиболее типичная ЧС: пожар на объекте</i></p>
<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b></p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ11	Никифоров Николай Васильевич		



**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2БМ11	Никифоров Николай Васильевич

<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Отделение нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	21.04.01 Нефтегазовое дело. Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оценка стоимости материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов на проведение мероприятий по внедрению пленочных электронагревателей запорно-регулирующих арматур газокompрессорной станции.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	ГОСТ ИЕС 60079-30-2-2011 Взрывоопасные среды. Электронагреватель резистивный распределенный.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налоговый кодекс Российской Федерации (1часть) ФЗ №146 от 31.07.1998 в ред. от 28.03.2023 Налоговый кодекс Российской Федерации (2 часть) ФЗ №117 от 05.08.2000 в ред от 28.04.20232. Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 №1 (ред. от 18.11.2022) "О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы"

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Обоснование перспективности внедрения пленочных электронагревателей запорно-регулирующих арматур газокompрессорной станции
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Расчет доходов и затрат при внедрении пленочных электронагревателей.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка экономической эффективности от сокращения времени простоя газокompрессорной станции

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор ОНД	Шарф И.В.	Д.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2БМ11	Никифоров Николай Васильевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 108 с., 17 рис., 14 табл., 48 источников, 1 прил.

**Ключевые слова:** Газокомпрессорная станция, запорно-регулирующая арматура, газоперекачивающий агрегат, греющий элемент, пленочные электронагреватели, условия низкой температуры, теплотехнический расчет.

**Объектом исследования** является отсечной кран газоперекачивающего агрегата.

**Цель работы** – выбор эффективной системы обогрева запорно-регулирующей арматуры, которая обеспечивает оптимальную температуру в условиях низких температур.

**В процессе исследования проводились** приведение характеристики и особенности района исследования, технических особенностей систем обогрева и теплоизоляции в условиях низких температур, теплотехнический расчет обогрева запорно-регулирующей арматуры в программном комплексе Ansys, а также применение альтернативной уплотнительной смазки для комплексного повышения надежности запорно-регулирующей арматуры, проведен расчет стоимости внедрения пленочных электронагревателей и рассмотрены вопросы производственной и экологической безопасности при эксплуатации газокомпрессорной станции.

**В результате исследования** проведен анализ существующих видов обогрева, а также выбор оптимальной системы обогрева в условиях низких температур, выполнен расчет стационарного температурного поля, а также расчет напряжения возникающего в результате теплового воздействия на корпус шарового крана с помощью компьютерного моделирования, определена необходимая температура для поддержания в надежном состоянии запорно-регулирующей арматуры в условиях низких температур.

**Степень внедрения:** предложенную систему обогрева можно применять при проектировании компрессорных станций в условиях низких температур.

**Область применения:** проектирование и эксплуатация компрессорных станций в условиях низких температур.

**Экономическая эффективность/значимость работы** с помощью компьютерного моделирования можно определять эффективность и надежность принятых проектных решений, которое сопровождается с минимальными временными и материальными затратами.

					«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газокомпрессорной станции в условиях низких температур.»		
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата			
Разраб		Никифоров Н.В.			Лит.	Лист	Листов
Пров		Никульчиков В.К.				10	108
Рук. ОПП		Шадрина А.В.			ОНД гр. 2БМ11		
					«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования		

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В данной работе были применены следующие термины и определения:

**Запорно-регулирующая арматура:** это комбинированный вариант, который объединяет функции запорной и регулирующей арматуры. Применяется для настройки параметров хода транспортируемой или используемой среды, а также перекрытия ее подачи.

**Рабочее давление:** Максимальное, из всех предусмотренных в проектной документации стационарных режимов перекачки, избыточное давление в секции трубопровода.

**Температурное поле:** совокупность значений температуры во всех точках рассматриваемого объема в каждый фиксированный момент времени. Температуре, характеризующей степень нагретости любой точки тела, нельзя приписать какое-либо направление, и поэтому она является скалярной величиной.

**Тепловой поток:** поток энергии (в форме теплоты), обусловленный её самопроизвольным, необратимым переносом в пространстве от более нагретых тел (участков тела) к менее нагретым

**Метод конечных элементов:** Математический метод численного решения системы уравнений механики деформируемого твёрдого тела с целью определения распределения напряжений и деформаций в деформируемых телах.

**Пленочный электронагреватель:** тонкая многослойная пленка из прочного износостойкого полиэтилена с расположенными между её слоями нагревательными элементами.

**Газоперекачивающий агрегат:** это сложные энергетические установки, предназначенные для компримирования газа, поступающего на компрессорную станцию.

					Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки	Лист/Л
Изм.И	Лист/Л	№ докум.№	ПодписьП	Дата		11

**Попутный нефтяной газ:** смесь различных газообразных углеводородов, растворенных в нефти; выделяющихся в процессе добычи и подготовки нефти.

**Обозначения и сокращения**

**САПР** – система автоматизированного проектирования;

**ЗРА** – запорно-регулирующая арматура;

**МКЭ** – метод конечных элементов;

**ПЛЭН** – пленочный электронагреватель;

**ГПА** – газоперекачивающий агрегат;

**ПНГ** – попутный нефтяной газ.

					<i>Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки</i>	<i>Лист/Л</i>
<i>Изм.И</i>	<i>Лист/Л</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>ПодписьП</i>	<i>Дата</i>		12

## Нормативные ссылки

ПБ 08-624-03 «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»

СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций»

ГОСТ ИЕС 60079-30-2-2011 Взрывоопасные среды. Электронагреватель резистивный распределенный.

СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.

СП 11–105.97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства.

СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.

МР 2.2.7.2129-06 «Режимы труда и отдыха, работающих в холодное время на открытой территории или в не отапливаемых помещениях»

ГОСТ 12.0.003–2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.0.002–2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

					<i>Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

## Содержание

<b>Введение .....</b>	<b>16</b>
<b>1. Анализ существующих видов обогрева .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1 История развития систем электрообогрева.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 Альтернативные системы обогрева .....</b>	<b>22</b>
<b>1.3 Электрообогревательные системы, основанные на резистивных кабелях .....</b>	<b>24</b>
<b>1.4 Электрообогревательные системы, основанные на саморегулирующихся кабелях .....</b>	<b>26</b>
<b>1.5 Скин-система электрического нагрева.....</b>	<b>29</b>
<b>1.6 Пленочные электронагреватели.....</b>	<b>34</b>
<b>2 Объект и метод исследования.....</b>	<b>38</b>
<b>2.1 Объект исследования.....</b>	<b>38</b>
<b>2.1.1 Общие сведения.....</b>	<b>38</b>
<b>2.1.2 Физико-географическая характеристика района работ.....</b>	<b>39</b>
<b>2.1.3 Гидрография.....</b>	<b>39</b>
<b>2.1.5 Рельеф и геоморфология.....</b>	<b>44</b>
<b>2.1.6 Гидрогеологические условия .....</b>	<b>44</b>
<b>2.1.7 Геокриологические условия.....</b>	<b>45</b>
<b>2.1.8 Геологические и инженерно-геологические процессы .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2 Метод исследования.....</b>	<b>46</b>
<b>3 Теплотехнический расчет обогрева запорно-регулирующей арматуры .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1 Построение CAD модели шарового крана .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2 Расчет и оценка стационарных температурных полей в программном комплексе Ansys Workbench.....</b>	<b>56</b>

					<i>«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газокompрессорной станции в условиях низких температур.»</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<b>Содержание</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб</i>		<i>Никифоров Н.В.</i>					14	108
<i>Пров</i>		<i>Никучиков В.К.</i>						
<i>Рук. ОПП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						
						ОНД зр. 2БМ11		
					<i>«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-</i>			

<b>3.3 Улучшение эффективности и надежности с использованием альтернативной смазки .....</b>	<b>64</b>
<b>4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....</b>	<b>67</b>
<b>4.1 Обоснование применения пленочных электронагревателей.....</b>	<b>67</b>
<b>4.2 Разработка проекта внедрения пленочных электронагревателей .....</b>	<b>68</b>
<b>4.3 Оценка экономической эффективности от реализации проекта.....</b>	<b>69</b>
<b>5 Социальная ответственность .....</b>	<b>73</b>
<b>5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..</b>	<b>73</b>
<b>5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства. ..</b>	<b>73</b>
<b>5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....</b>	<b>75</b>
<b>5.2 Производственная безопасность.....</b>	<b>76</b>
<b>5.2.1 Анализ вредных производственных факторов .....</b>	<b>77</b>
<b>5.2.2 Анализ опасных производственных факторов .....</b>	<b>81</b>
<b>5.3 Экологическая безопасность.....</b>	<b>82</b>
<b>5.3.1 Воздействие на окружающую среду.....</b>	<b>82</b>
<b>5.3.2 Расчет удельных выбросов сгораемого газа при остановке ГПА .....</b>	<b>84</b>
<b>5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....</b>	<b>87</b>
<b>Заключение .....</b>	<b>90</b>
<b>Список использованной литературы.....</b>	<b>91</b>
<b>Приложение I (справочное).....</b>	<b>95</b>

## Введение

Современные компрессорные станции – представляют собой сложную систему технологических оборудований, площадок и различных установок которые между собой связаны сетью технологических трубопроводов.

Газокомпрессорные станции являются важным звеном в нефтегазовой промышленности, обеспечивая перекачку газа по трубопроводам и его дальнейшую транспортировку. Надежная работа запорно-регулирующей арматуры является критически важной для безопасной и эффективной эксплуатации газокомпрессорных станций. Однако при эксплуатации такого оборудования в условиях низких температур эксплуатирующие организации часто сталкиваются с проблемами замерзания и отказов запорно-регулирующей арматуры.

Оптимизация работы газокомпрессорных станций крайне важна для обеспечения повышенной надежности и безопасности производства, особенно в условиях экстремальных температурных режимов. Для повышения надежности и долговечности запорно-регулирующей арматуры необходимо разработать рекомендации по ее оптимизации и эксплуатации.

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены способы повышения надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газокомпрессорной станции в условиях низких температур. Результатами исследования станут практические рекомендации по выбору оптимальных видов обогрева и оптимального режима эксплуатации в условиях низких температур.

**Актуальность** данной темы заключается в том, на данный момент крупные нефтяные компании интенсивно переходят на добычу в условиях крайнего севера где большое количество трудноизвлекаемых запасов углеводородов. В условиях низких температур замерзание и обмерзание

					<i>«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газокомпрессорной станции в условиях низких температур.»</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб</i>		<i>Никифоров Н.В.</i>			<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров</i>		<i>Никulichиков В.К.</i>					16	108
<i>Рук. ОПП</i>		<i>Шадрин А.В.</i>						
						<i>ОНД гр. 25М11</i>		
					<i>«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-</i>			



запорно-регулирующей арматуры является одной из наиболее распространенных проблем в эксплуатации газокomppressorных станций.

**Проблематика.** Частое замерзание запорно-регулирующей арматуры приводит к остановам оборудования, необходимости проведения сверхнормативных работ и в конечном итоге, к снижению эффективности и надежности работы станции.

**Целью данной работы** является выбор эффективной системы обогрева запорно-регулирующей арматуры, которая обеспечивает оптимальную температуру в условиях низких температур.

Задачи исследований, обеспечивающие реализацию поставленной цели:

1. Проанализировать существующие виды системы обогревов;
2. Выбор наиболее оптимальной системы обогрева запорно-регулирующей арматуры;
3. Провести теплотехнический расчёт выбранного вида системы электрообогрева;
4. Рассмотреть варианты применения смазок обеспечивающих работоспособность запорно-регулирующей арматуры в условиях крайнего севера
5. Произвести расчет экономической эффективности.

Практическая значимость:

Разработанная рекомендация позволит путем внедрения пленочных электронагревателей повысить надежность запорно-регулирующих арматур технологических оборудования за счет увеличенной площади нагревания и, следовательно, равномерного нагрева исследуемого объекта.

					<i>Введение</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

# 1. Анализ существующих видов обогрева

## 1.1 История развития систем электрообогрева

Электрообогрев начал повсеместно применяться за рубежом в начале 60-х годов прошлого столетия. Этому способствовало сразу несколько причин:

- повышение производства электроэнергии;
- создание теплоизоляционных материалов высокого качества, вследствие чего для обогрева стало требоваться меньше мощностей;
- расширение возможностей для автоматизации процессов на производстве.

Вследствие того, что потребные мощности продолжали оставаться значительными (от 100 до 300 Вт/м), наибольшую востребованность приобрели устойчивые к перепадам температуры решения – ими обеспечивалась большая мощность. Это имело связь прежде всего с тем, что на тех же производственных базах, что и производство ТЭНов и иных жестких нагревателей, стали создаваться кабели, оснащенные минеральной изоляцией.

Ленточные резистивные кабели также стали востребованным решением. В их состав входили базальтовые и стеклянные волокна с пропитками типа ЭНГЛ. Вместе с ленточными резистивными кабелями начали популяризоваться системы нагрева, основанные на таких кабелях. Толчком для этого послужило создание и распространение силиконовых резин и фторполимеров.

Еще одним шагом стало появление нагревательных лент, в которых использовался эффект саморегуляции. Они были изобретены при изучении

					«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газокompрессорной станции в условиях низких температур.»		
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата			
Разраб		Никифоров Н.В.			Лит.	Лист	Листов
Пров		Никulichиков В.К.				18	108
Рук. ОПП		Шадрина А.В.			ОНД гр. 25М11		
					«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-		

свойств, которыми обладали угленасыщенные проводящие пластмассы. Несмотря на то, что нагревательные ленты обладатели в сравнении с резистивными лентами сниженной выделяемой мощностью (от 10 до 50 Вт/м), это уже не являлось их недостатком вследствие появления теплоизоляционных материалов с высокой эффективностью. Вместе с тем саморегулируемые нагреватели обладатели такими преимуществами, как возможность изменять длины и невозможность перегрева. Это и обусловило их высокую популярность как технологического решения.

Резистивный прямой электрический нагрев также использовался для нагрева трубопроводов. При этом электрический ток пропускался по той трубе, которая обогревалась. Этот способ использовался при необходимости произвести аварийный разогрев трубы небольшой протяженности. Однако данный метод не стал популярным, поскольку при его использовании снижалась безопасность обслуживающего персонала, а также возникала повышенная взрыво- и пожароопасность, что было особенно важно при перевозке нефтепродуктов.

В некоторых случаях при решении задач, связанных с обогревом трубопроводов, является целесообразным использование нагревательных индукционных систем. В них металлические стенки трубопроводов либо резервуаров нагреваются посредством действия электромагнитного поля, которое создает ток, протекающий в индукторе. Как правило, ток, используемый для таких задач, имеет промышленную частоту. Система обогрева может быть выполнена в двух вариантах: дискретный обогрев (только для отдельных участков трубопровода) либо сплошной обогрев. В случае дискретного обогрева индукторы, установленные на трубе, удалены друг от друга на заданное расстояние. Применение индукционных обогревательных систем является целесообразным тогда, когда трубы имеют небольшую длину (как правило, это возможно на территориях химических и нефтеперерабатывающих заводов).

Появление индукционно-резистивной обогревательной системы, которая впервые начала применяться в Японии, стала важным шагом. В основу данной системы положен скин-эффект. Она стала применяться с целью обогреть длинные (до 15 километров) трубопроводы. В Японии в 1971 году с помощью индукционно-резистивных систем обогревалось 120 километров трубопроводов, мощность составляла 15 МВт. Положительные свойства данных систем – безопасность, надежность, а также отсутствие питающих электросетей. [3]

Нужно заметить, что СКИН-системы являются очень востребованными в условиях Российской Федерации. Это обусловлено тем, что в России используется множество длинных трубопроводов, которые проложены и функционируют в суровых климатических условиях. Сегодня СКИН-системы производятся предприятиями трех стран – Японии, России и США.

В сравнении с другими способами обогрева электрический обогрев обладает следующими преимуществами:

- Удобство конструктивного исполнения;
- Повышенная концентрация мощности;
- Постоянство обогревательной мощности по всей длине трубопровода;
- Широкие возможности для температурной регуляции нагрева;
- Низкая сложность встраивания в автоматизированные системы, которые внедрены в большинстве производственных предприятий;
- Сниженная материалоемкость, повышенная экономическая эффективность, достигаемая оптимальным расходом электрической энергии. Точность, простота автоматического подсчета затрат на электрической обогрев;
- Повышенная безопасность, длительные сроки эксплуатации, что обеспечивается использованием качественных материалов и передовых технологий. Повышенная пригодность к ремонту;
- Экологичность;

					<i>Анализ существующих видов обогрева</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

– Возможность восстановить функционирование трубопровода в случае перебоев в электропитании.

Запитывание систем электрического обогрева происходит от общих систем электрического снабжения на предприятиях. Для них создаются собственные автоматизированные управляющие системы, в которые закладываются алгоритмы для поддержания нужного режима. Такие алгоритмы могут быть интегрированы с АСУ верхних уровней и использоваться на разветвленных и сложных трубопроводных сетях, а также резервуарах различных форм. [14]

Сниженная относительно других способов обогрева стоимость, широкие возможности для автоматизации, быстрота и простота монтажа, надежность, подтвержденная десятилетиями функционирования электрических обогревающих систем – объективные преимущества таких систем, вследствие которых пароспутники сегодня почти не применяются. Однако на территории взрывоопасных зон электрообогревательные системы нужно применять с особой тщательностью. В случае тщательного проектирования и надлежащей эксплуатации даже во взрывоопасных зонах электрообогревательные системы будут полезными и безопасными.

					Анализ существующих видов обогрева	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

## 1.2 Альтернативные системы обогрева

Рост добычи нефти и её транспортировка до нефтеперерабатывающих предприятий, открыл такую проблему, как потребность в подогреве магистральных трубопроводов, емкостей для хранения нефтепродуктов, а также других объектов.

В начале XX столетия на нефтяных месторождениях Кавказа строится трубопровод с подогревом мазута для сокращения сопротивления его движению.

В Советском Союзе первые случаи применения трубопроводов с обогревом известны с начала 1930 года. Например, по заказу МОГЭС был построен мазутопровод диаметров 8 дюймов и длиной 5 км. Перекачивая мазут марки 80, подогретый до температуры 50°C. Главной задачей на тот момент было устранение загустевания мазута и после остановки движения. Трубопровод благополучно эксплуатировался с 1933 по 1939 г.

С развитием нефтяной промышленности число объектов, нуждающихся в применение подогрева, непрерывно увеличивалось. Например, применение заводнения, т. е. закачивание в пласт почвы воды, потребовало подогрева водоводов. Данная проблема наиболее актуальна для подогрева трубопроводов в районах Северной и Сибирской части России.

Исторически складывалось так, что одни из первых систем подогрева использовались на основе теплоносителей дымовых газов, горячей воды (95°C) и пара (120-130°C). Через какое-то время нашло применение в качестве теплоносителя масло и высокотемпературные органические носители – жидкости ВОТ (свыше 160°). Больше всего в качестве подогрева использовался водяной пар, который транспортировался, без каких-либо проблем и не представлял пожарной опасности. Чаще всего применялся насыщенный пар под давлением 0,3-0,4 Мпа, обеспечивая подогрев нефтепродукта до 70-90°C.[1]

					Анализ существующих видов обогрева	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

В зависимости от типа строения обогреваемого объекта использовались разные виды обогрева, такие как:

- обогрев дымовыми газами трубчатых подогревателей и цистерн с нефтепродуктами;
- обогрев «острым» (открытым) паром, т.е. подача насыщенного пара в нефтепродукт.
- обогрев посредством подачи теплоносителей (которыми могут являться масло, горячая вода, «глухой» пар, а также жидкости ВОТ) в «рубашку» трубопровода, цистерны либо резервуара;
- применение встроенных подогревателей (змеевиков, секционных), куда производится подача теплоносителя.

При подогреве резервуаров и трубопроводов пар – основное техническое решение. Паросиловые хозяйства находились в составе многих предприятий. Задачей данного хозяйства являлась генерация пара и его распределение для потребителей. Пара пар-мазут была технически связанной мазут применялся для генерации пара, а пар использовался для того, чтобы обеспечить налив-слив мазута.

Описанное выше технологическое решение обладает следующими положительными сторонами:

- увеличенная теплоемкость, благодаря которой нагреваемая среда может быстро получать нужное количество теплоты;
- возможность направленно подавать и подводить свежий пар посредством паропроводов на значительные расстояния;
- легкость генерации пара при условии использования мазута, имевшегося в то время повсеместно.

К недостаткам метода можно отнести следующие его особенности:

- при постоянной работе пара возникает множество проблем, которые связаны, прежде всего, с необходимостью отводить конденсат, а также коррозией;

					<i>Анализ существующих видов обогрева</i>	<i>Лист</i>
						23
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- трубы могут эксплуатироваться в течение коротких сроков, из-за чего повышается стоимость эксплуатации, а также требуется большое количество обслуживающего персонала;
- «плечи» подогрева труб имеют короткую длину (до 500 метров);
- при прохождении пара по трубопроводу его температура снижается, вследствие чего растёт расход пара;
- для генерации пара требуются существенные расходы;
- процессы не могут быть хоть сколько-нибудь серьезно автоматизированы (это возможно только для подсчета расхода пара на «плечи» и контроля температуры);
- повышенные капитальные и материальные затраты, которые дополнительно увеличиваются, если обогрев производится посредством рубашек;
- при остановке в прокачках пара пароспутники могут из-за замерзаний конденсата выйти из строя.

Следует заметить, что из-за того, что отсутствия теплоизоляционных материалов, которые обладали бы достаточными долговечностью и качеством, а также особенностями функционирования трубопроводов, которые большую часть времени находились в режиме «остановка», для работы трубопровода требовалась мощность от 300 до 1000 Вт/м.

### **1.3 Электрообогревательные системы, основанные на резистивных кабелях**

К числу нагревательных резистивных лент и кабелей относятся те, где тепло выделяется благодаря эффекту Джоуля-Ленца, когда электрический ток проходит по нагревательным жилам. Такие кабели также имеют название «кабели последовательных схем». Конструирование нагревательных секций, производимых с использованием резистивных лент или кабелей, осуществляется так, чтобы по всей нагревательной жиле приложенное

					<i>Анализ существующих видов обогрева</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		24



напряжение полностью падало, а составляющие секции не перегревались существенно, чем это необходимо. Как правило, нагревательная секция в длину составляет от 5 до 100-200 метров. Резистивные ленты и кабели способны обладать разным количеством нагревательных жил спиральной либо линейной формы. Произвольно резать резистивные ленты и кабели по длине запрещено. [21]

Материалы и исполнение отдельных элементов (таких, как токопроводящие и нагревательные жилы, изоляция, экран, бронь, оболочка, защитные покровы) определяют, каким конструктивным исполнением будут обладать конкретные ленты и кабели.

При нагреве тепловая мощность, которой обладают резистивные ленты и кабели, уменьшается незначительно. Степень изменения является зависящей от температурного коэффициента сопротивления материалов, примененных для производства нагревательной жилы в соответствии с таблицей 1.4.1. Сплавы высоких сопротивлений меняют свои сопротивления меньше всего ( $\text{TK}_p = 0,00002$ ), наибольшим температурным коэффициентом обладает ( $\text{TK}_p = 0,0042$ ).

Важностью обладает также и то, насколько отличаются температуры кабелей в режиме рабочего функционирования и во время включения. Нормирование номинального сопротивления, которым обладают резистивные кабели, осуществляется при температуре +20 градусов Цельсия, при этом включение под нагрузку обычно осуществляется в условиях отрицательных температур. Таблица 1 дает представление о степени изменения в сопротивлении резистивных кабелей в зависимости от того, какова разница температур и из какого материала произведены нагревательные жилы. Температурами, при которых включаются обогревательные системы, наиболее часто являются -40 и -20°C. Такие отметки температур, как +60 и +150°C – типичный нагрев жил в среднетемпературных и обычных нагревательных кабелях при рабочих режимах.

					<i>Анализ существующих видов обогрева</i>	<i>Лист</i>
						25
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 1 – Зависимость сопротивления и мощности кабелей от температуры

Материал, из которого произведена нагревательная жила	ТКр	Температура жилы, °С				
		-40	-20	20	60	150
Константан	0,00002	0,9988	0,9992	1	1,0008	1,0026
Нихром	0,0001	0,994	0,996	1	1,004	1,013
Алюмель	0,0024	0,856	0,904	1	1,096	1,312
Нержавеющая сталь 0	0,003	0,82	0,88	1	1,12	1,39
Латунь	0,0027	0,838	0,892	1	1,108	1,351
Медь	0,0042	0,748	0,832	1	1,168	1,546

#### 1.4 Электрообогревательные системы, основанные на саморегулирующихся кабелях

Саморегулирующиеся ленты и кабели – нагревательные резистивные схемы, которые обладают схожим с конструкцией зональных резистивных лент устройством. В них есть две токопроводящие параллельные жилы, которые не являются изолированными. Те жилы, которые проводят ток, либо заключаются в проводящие полимерные матрицы, либо соединяются посредством специальных проводящих полимерных нитей. Саморегулирование достигается благодаря тому, что тепловыделяющие элементы в лентах, произведенные из проводящих полимерных материалов, повышают сопротивление при увеличении температуры. Размер коэффициента ТКр у проводящих полимеров достигает до 0,05-0,075 (превышает значение меди в 12-18 раз).

Нагревательные саморегулирующиеся ленты и кабели являются специфическими кабельными изделиями. Их типовая конструкция следующая: две жилы, расположенные параллельно и проводящие ток, покрываются полимером, который является полупроводящим и покрыт

углеродом (как правило, для обозначения этого полимера применяется термин «матрица»). Сверху матрицы накладываются электрическая изоляция, оболочка, а также экранирующая оплетка. Как показано на рисунке 1, саморегулирующиеся ленты являются овальными. [31]

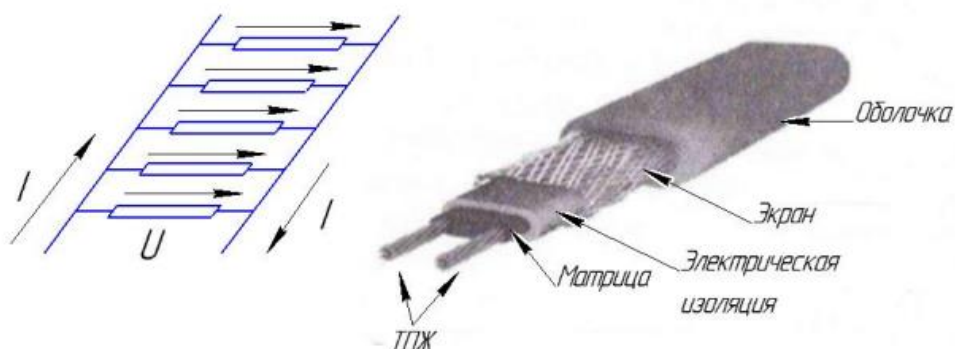


Рисунок 1 – Схема, внешний вид саморегулирующихся кабелей

Возможно условное изображение полупроводящих матриц как огромного числа сопротивлений, которые параллельно подсоединяются к жилам, проводящим ток. Когда на находящиеся в разомкнутом состоянии жилы поступает напряжение, в полупроводящих матрицах появляется ток, из-за этого начинает исходить тепло. Материя, из которого сделана матрица, увеличивается из-за нагрева, при помощи чего одинокие частицы углерода прекращают соприкасаться между собой. Сопротивление матрицы возрастает, ток снижается. Через 5 минут температура, и ток становятся стабильными.

Приведенное к одному метру сопротивление матрицы, обычно, равно 100-500 Ом, в результате чего у нагревательных саморегулирующихся лент возникают новые единственные в своем роде свойства:

- их возможно применять для подключений на полные напряжения разными длинами (от десятков сантиметров до предельно допустимых) без проведения специальных расчетов. Это свойство ценно, когда длина трубопровода, который должен быть обогрет, неизвестна заранее;

- могут локально менять выделение тепла (при повышении в какой-либо зоне температуры саморегулирующаяся лента дает меньшее

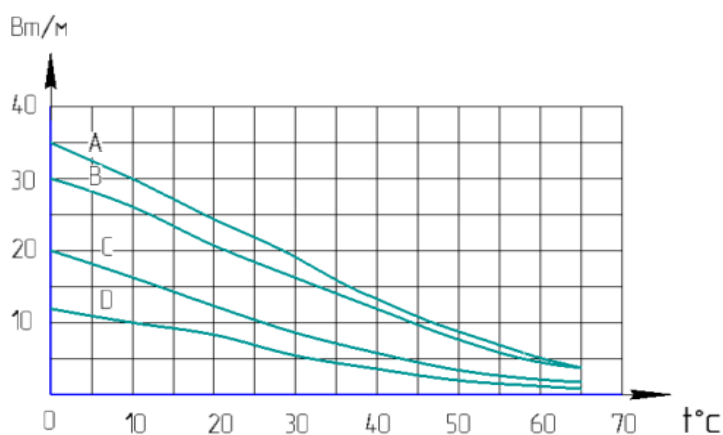
тепловыделение). Из-за этого свойства безопасность обогревательной системы является высокой, а монтаж саморегулирующихся лент упрощен (ленты могут пересекаться друг с другом). [14]

Зависимость тепловыделения от такого параметра, как температура, диктует правила измерения и нормирования тепловых мощностей, которыми обладают саморегулирующиеся ленты. Нормирование данного параметра осуществляется при следующих условиях. Отрезок ленты, подлежащей измерению, устанавливается на трубе из металла (диаметр – от 50 миллиметров) таким образом, чтобы возник качественный тепловой контакт.

Далее по трубе подается охлаждающая жидкость, чья температура находится в диапазоне  $10 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  (в некоторых случаях возможны измерения при температуре  $5^{\circ}\text{C}$ ). Труба и ленты закрываются изоляцией (толщина – не менее 20 миллиметров). Приведенная в каталогах номинальная мощность, которой обладают саморегулирующиеся ленты – мощность, которая была измерена в стандартных условиях. Чтобы понять, какова зависимость мощности от параметра температуры для конкретной ленты, нужно задать для трубы нужную температуру и поддерживать ее.

Снятие зависимости, описанной выше, осуществляется как минимум при трех величинах температуры трубы. На рисунке 2 продемонстрирована зависимость мощности саморегулирующегося кабеля, произведенного компанией Tuso-Raychem (марка ВТV-СТ) от температуры в трубе. При иных условиях (например, тогда, когда с обогреваемыми объектами установлен плохой контакт), мощность, которая выделяется саморегулирующимся кабелем, не соответствует справочным кривым. При подвешивании саморегулирующихся лент в воздухе из-за ухудшенных условий тепловой отдачи мощность будет приблизительно на 30% меньше, чем нормируемое значение. [19]

					Анализ существующих видов обогрева	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



БТВ2-СТА  
 А 10БТВ2-СТВ  
 В 8БТВ2-СТС  
 С 5БТВ2-СТД  
 Д 3БТВ2-СТ

Рисунок 2 – Типичные зависимости мощности в саморегулируемых кабелях от температуры в трубах

### 1.5 Скин-система электрического нагрева

Принцип действия скин – системы.

Системы индукционно-резистивного обогрева для трубопроводов, которая иначе называется как скин-система, в иностранных литературных источниках получила обозначение «скин-система».

Основные подсистемы: нагревательные индукционно-резистивные элементы; контроль; питание; управление; крепеж; тепловая изоляция.

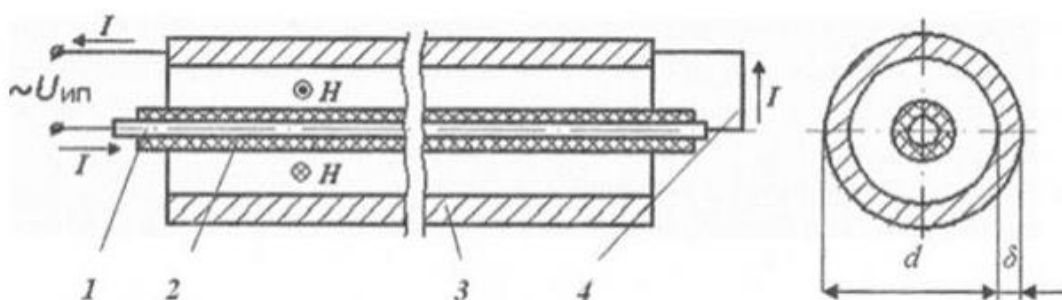
Индуктивно-резистивные нагреватели представляют собой короткозамкнутые коаксиальные линии, где изолированный внутренний проводник свободно помещается в ферромагнитной трубке.

Вследствие того, что система электрообогрева имеет протяженную длину, в её состав входят соединительные коробки связи, а также питающие коробки и соединители для изолированных проводников.

В завершении плеча обогрева проводник закорачивается с обогревной

трубкой. В начале плеча между проводником и трубкой возникают переменные напряжения, подаваемые источником электропитания в соответствии с рисунком 3.[13]

Когда происходит подача переменного напряжения  $U_{ип}$  посредством проводника I от источника питания, а также ферромагнитной стальной трубке 3, протекающий в зазоре ток I формирует электромагнитное поле во внутренней поверхности нагревательной трубки. Данное электромагнитное поле характеризуется таким параметром, как магнитная напряженность H



1 – жила в проводнике – индукторе, 2 – электроизоляция проводника, 3-трубка из стали, 4 – соединение трубки и проводника в конце линии

Рисунок 3 – Нагревательный элемент в СКИН-системе электрического обогрева трубопровода

Ток проходящий по проводнику внутри трубки, индуцирует магнитное поле, которое взаимодействует с протекающим в трубке током противоположного направления. Ферромагнитная стальная трубка 3 греется изза тепла, которое исходит от тока противоположного направления I, проходящий по ней, а также индукционному нагреву трубы в электромагнитном переменном поле (иными словами при помощи комбинированного индукционно-резистивного обогрева).

Распределение в проводниках плотности тока – важная особенность системы. Внутренний проводник в нагревательном элементе, который имеет сокращение ИРП (индукционно-резистивный проводник) выполняется с жилой, проводящей ток и произведенной из алюминия либо меди 8-50 мм<sup>2</sup>.

Размеры ИРН: диаметр – от 25 до 50 мм, толщина – от 3 до 4 мм. Как правило, применяется ток, имеющий промышленную частоту (50 Гц). Приложение питающего напряжения осуществляется так, что по ИРП и ИРН ток течет в разных направлениях. При условиях, описанных выше, сопротивление во внутреннем проводнике практически такое же, что и сопротивление в постоянном токе. В ферромагнитном внешнем проводнике имеют место другие процессы. Поскольку магнитная относительная проницаемость в стали при соответствующей напряженности в электромагнитном поле приобретает значения в диапазоне от 80 до 1000, то из-за того, что протекающие токи взаимно влияют друг на друга, ток вытесняется к внутренней поверхности трубки. Поскольку ИРН обладает магнитными свойствами, то в нем отмечается поверхностный эффект (ток протекает только в поверхностном тонком слое, имеющем толщину порядка 1 миллиметра). Вследствие поверхностного эффекта сопротивление на переменном токе ИРН приобретает гораздо большее значение, чем на постоянном. Оно определяется тем, какова глубина проникновения электромагнитного поля. Электрическая безопасность – важная особенность системы обогрева на основе скин эффекта. Как было продемонстрировано выше, ток проходит по внутренним стенкам индуктивно-резистивных нагревателей, когда на внешних поверхностях трубки ток отсутствует, как и электропотенциалы. Поэтому, заземление ИРН есть возможность делать во всех местах. Обычно, ИРН и контур заземления закорачиваются в конце участка обогрева. [16] Монтаж ИРН на трубопроводе, который обязан иметь

					Анализ существующих видов обогрева	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

обогрев, осуществляется так, чтобы между ИРН и трубопроводом возникла надежная тепловая связь. Конструктивно один или несколько нагревательных элементов монтируются к теплоизолированному трубопроводу по всей его длине. От нагревательных элементов тепло за счёт теплопередачи передается трубопроводу и транспортируемому продукту в соответствии с рисунком 4.

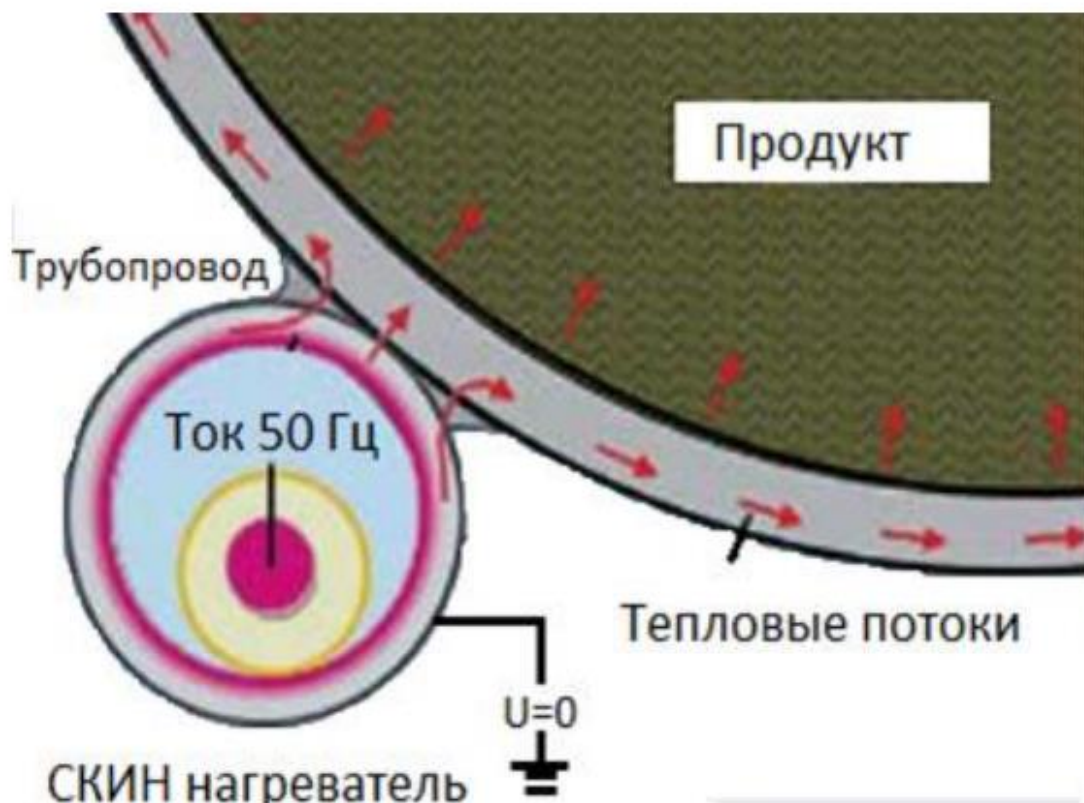


Рисунок 4 – Схема тепловых потоков у трубопровода со СКИН-системой обогрева

Основные достоинства скин – систем обогрева.

СКИН-системы имеют некоторые достоинства при их использовании для обогрева трубопроводов по сравнению с другими (кабельными) системами электрообогрева:

- Питание с одного конца. По своему строению СКИН-система предполагает подачу питания с одного конца обогреваемого участка, что допускает отступить от сопровождающей электросети;
- Электробезопасность. Наружная поверхность нагревательного элемента заземлена и имеет нулевой потенциал относительно земли;



- Экономичность при повышенных длинах трубопроводов. Это самый эффективный способ обогреть любые длинные магистральные трубопроводы при условии отсутствия сопроводительной сети;
- Повышенная надежность и прочность. Эти свойства обеспечены конструкцией СКИН-систем;
- Одним участком может обогреваться до 15 километров трубопроводов;
- Нагревательные элементы дают выделение в диапазоне от 20 до 60 Вт/м, в отдельных случаях этот параметр способен достигать значений 120 Вт/м;
- Поддерживаемые в трубопроводе рабочие температуры  $t = 5^{\circ}\text{C} - 140^{\circ}\text{C}$ ;
- Требуется нестандартный двухфазный либо однофазный источник питания, который изготовлен по индивидуальному проекту с характеристиками: напряжение  $U_{\text{ип}}$  - не менее 5 кВ, ток  $I$  находится в диапазоне 60 – 120 А, частота  $f = 50$  Гц.

#### Конструкция обогревательной подсистемы ИРСН системы

Индукционно – резистивная система обогрева состоит из основных элементов:

- индукционно-резистивные нагреватели трубчатые (ИРН) – закреплены на обогреваемых трубопроводах;
- индукционно-резистивные проводники (ИРП) – находятся внутри ИРН;
- индукционно-резистивные питающие коробки (ИРПК) – присоединяют ИРП и ИРН к электропитающим сетям;
- индукционно-резистивная соединительная коробка (ИРСК) – соединяет отдельные части ИРП с ИРН, закреплена на трубопроводе, который обогревается;

					Анализ существующих видов обогрева	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

- индукционно – резистивные концевые коробки (ИРКК) – присоединяют ИРП к ИРН, находятся в завершении обогревательной линии;
- комплектные распределительные устройство (КРУ) – подают питание к ИРСН, управлению обогревом, обеспечивают тепловую и электрическую защиту;
- сеть управления, силовая сеть.

## 1.6 Пленочные электронагреватели

В современном мире нефтегазовая отрасль играет важную роль в обеспечении энергетических потребностей общества. Одним из ключевых аспектов этой отрасли является эффективный нагрев нефти и газа, а также оборудования, используемого в процессе их обработки и транспортировки. В этом контексте пленочные электронагреватели далее (ПЛЭН) заслуживают особого внимания, представляя собой передовую технологию, обладающую значительной практической значимостью.

Концепция пленочных электронагревателей представляет собой инновационный подход к теплоснабжению в различных отраслях промышленности. ПЛЭН представляют собой электронагреватели, использующие технологию лучистого теплообмена для эффективного и равномерного нагрева объектов. В этом разделе мы рассмотрим принцип работы ПЛЭН, их преимущества и практическую значимость в различных отраслях.

ПЛЭН основаны на использовании нагревательных элементов, покрытых тонким слоем полимерной или керамической пленки. ПЛЭН обеспечивают равномерное распределение тепла и высокую энергоэффективность.

Одной из главных преимуществ ПЛЭН является их быстрота и точность в достижении заданной температуры. Благодаря малому инерционному эффекту, ПЛЭН способны быстро реагировать на изменения

					<i>Анализ существующих видов обогрева</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		34

тепловой нагрузки и поддерживать стабильную температуру. Это особенно важно в промышленных процессах, где требуется точный контроль нагрева.

ПЛЭН также обладают высокой энергоэффективностью. Благодаря лучистому теплообмену, тепло передается непосредственно на объект нагрева без необходимости прогревать окружающую среду. Это позволяет снизить потери энергии и сократить затраты на электроэнергию.

В нефтегазовой отрасли ПЛЭН имеют широкий спектр применений. Они могут использоваться для нагрева нефти и газа в процессе добычи, транспортировки и обработки. ПЛЭН обеспечивают эффективный нагрев трубопроводов, емкостей и резервуаров, предотвращая конденсацию и облегчая транспортировку продуктов.

Пять ключевых преимуществ ПЛЭН перед греющим кабелем:

1. Полное покрытие поверхности;
2. Низкий расход метража;
3. Оптимальная стоимость системы;
4. Низкое электропотребление;
5. Быстрая и простая установка.
- 6.

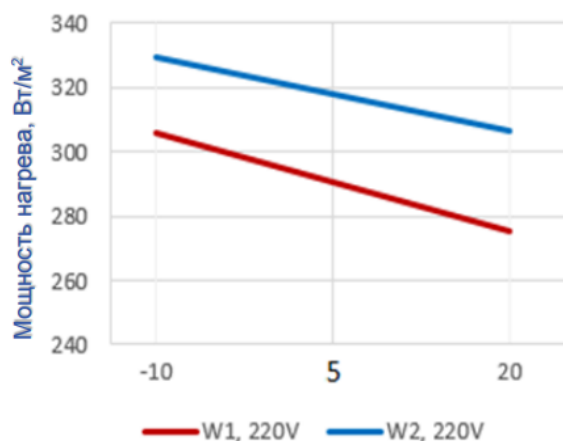
Таблица 2 Характеристики материала ПЛЭН

Носитель	Пленка на основе углеродного наполнителя
Свойство	Значение
Ширина	150 – 1000 мм
Мощность	180 – 1000 Вт/м <sup>2</sup>
Толщина	0,35 – 0,6 мм
Режимы работы	Стандартный (220В) Усиленный (380В)

Есть возможность нанесения на материал дополнительной изоляции, которая обеспечивает УФ, механическую защиту и стойкость к химическим средам.

На данных изделиях есть свойства саморегулирования и защиты от перегрева.

Саморегулирование нагревательной пленки – изменение сопротивления при температурном расширении/сжатии проводящего полимера в ее структуре. При более низких температурах пленка выделяет больше тепловой энергии.



W1 – характеристики ненагруженной пленки (подвешена в воздухе);

W2 – характеристики нагруженной пленки (установлена на поверхность).

Рисунок 5 Мощность саморегулирования в зависимости от температуры проводящего полимера

Защита от перегрева (положительный температурный коэффициент) – свойство, обеспечивающее резкое ограничение нагрева пленки выше определенного уровня температуры (60-70 °C)

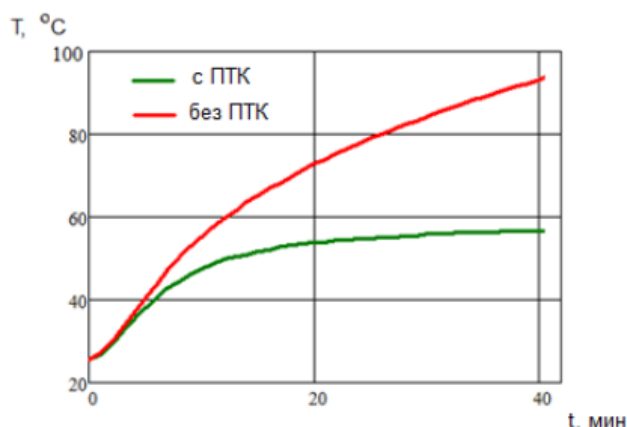


Рисунок 6 График температуры нагрева ПЛЭН с положительным температурным коэффициентом и без положительного температурного коэффициента

Монтаж ПЛЭН на трубы с  $d > 100$  мм. Пленка наносится спиральной укладкой, покрывая 80-90% площади трубы, имеет умеренную удельную мощность. В процессе работы она может поддерживать температуру продукта +10 С.



Рис. 7 Варианты монтажа нагревательных пленок

Монтаж ПЛЭН на трубы  $d < 100$  мм. Для труб малого диаметра и на запорную арматуру пленка наносится аналогичным кабелю способом, но с лучшим прилеганием и большей площадью покрытия.

В заключение, пленочные нагреватели являются эффективным и практичным решением для нефтегазовой отрасли. Их использование в процессе добычи, транспортировки и обработки нефти и газа, а также при обезвоживании и защите от замерзания, приводит к повышению производительности, снижению энергопотребления и улучшению качества продукта.

Основными преимуществами пленочных нагревателей являются равномерное распределение тепла, высокая энергоэффективность и точное управление температурными режимами. Они позволяют минимизировать потери энергии, снижая затраты на электроэнергию и оптимизируя процессы в нефтегазовой отрасли.

## 2 Объект и метод исследования

### 2.1 Объект исследования

#### 2.1.1 Общие сведения

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является [REDACTED]

Местоположение – [REDACTED]

#### Характеристика ГПА:

Агрегат газоперекачивающий ангарного типа [REDACTED], предназначен для компримирования и подачи попутного нефтяного газа на закачку в пласт в целях поддержания пластового давления. Режим работы – круглосуточный, постоянный. Расчетное время работы принято 8400 часов в год. Максимальное поступление газа на приеме ГКС составляет 3,66 млрд. нм<sup>3</sup>/год. Максимальная производительность сооружений ГКС по закачке газа составляет 3,5 млрд. нм<sup>3</sup>/год. Давление на выходе ГКС (в районе узла подключения к напорному газопроводу) составляет около 21 МПа (изб.).

Обозначение газоперекачивающего [REDACTED]:

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газокompрессорной станции в условиях низких температур.»		
Разраб		Никифоров Н.В.			Лит.	Лист	Листов
Пров		Никульчиков В.К.				38	108
Рук. ОПП		Шадрина А.В.			Объект и метод исследования		
					ОНД гр. 2БМ11		

«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования

- 

[REDACTED]

- 

[REDACTED]

[REDACTED].

ГПА относится к продукции производственно-технического назначения.

ГПА предназначен для эксплуатации в условиях умеренно холодного климата в диапазоне температур окружающего воздуха от минус 60 до плюс 40 °С.

Климатическое исполнение – УХЛ по ГОСТ 15150: категория размещения – IV для оборудования, устанавливаемого внутри укрытия; категория размещения - I для оборудования и его частей, устанавливаемых вне укрытия.

### **2.1.2 Физико-географическая характеристика района работ**

Согласно административно-территориальному делению площадка Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения находится на территории Мирнинского района Республики Саха (Якутия). Среднеботуобинское нефтегазоконденсатное месторождение находится в 130 км на юго-запад от г. Мирного и в 140 км к северо-западу от г. Ленска.

Единственный населенный пункт на площади месторождения – поселок Таас-Юрях с населением около 500 человек.

### **2.1.3 Гидрография**

Все водотоки исследуемого региона в гидрографическом отношении принадлежат бассейну реки Лена, подбассейну р. Вилюй. Площадка под строительство складского комплекса расположена на водоразделе

					<i>Объект и метод исследования</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

руч. Хампа-Юрюйте и руч. Усумуун (р. Успун), являющиеся левыми притоками р. Тэлгэспит. Непосредственно на территории площадки постоянные и временные водотоки отсутствуют.

В целом, густота речной сети района изысканий составляет в среднем по району 0,3 км/км<sup>2</sup>. Строение речных бассейнов преимущественно асимметричное. Водораздел-ные линии большей частью хорошо выражены, за исключением низменностей, где не редко они не прослеживаются. Характерной особенностью речной сети исследуемого района является ее глубокий врез. Но в тоже время речные долины, особенно на равнинных участках, широкие, с обширными заболоченными поймами, в пределах которых развита сеть стариц и небольших озер.

Река Улахан-Ботуобуя правый приток р. Вилуой, впадает в него на 1294 км от устья. Общая длина водотока 459 км, площадь водосбора 17500 км<sup>2</sup>. Основная доля боковой приточности в бассейне р. Улахан-Ботуобуя приходится на его левобережную часть. Средние высоты водосбора составляют 370 м, наибольшие 400 – 425 м.

Озера в бассейне реки Улахан-Ботуобуя расположены вне главного русла, в бессточных понижениях речных долин. Образование озер происходит в основном в результате протаивания и проседания грунта (термокарстовые озера). Большинство озер имеют малые площади водного зеркала, менее 1 км<sup>2</sup> и в засушливые годы высыхают. Суммарная доля озер на водосборе не превышает 1 %.

Заболоченность территории также представляет собой слабопроточные образования в плоских понижениях, долинного типа, зачастую с рядом мелких озер внутри. Забо-лоченность бассейна р. Улахан-Ботуобуя составляет в среднем 10 %. Залесенность бассейна 90 %.

Распаханные территории крайне незначительны, приурочены к населенным пунктам. Использование рек как источников водоснабжения затруднено, так как большую часть лета они маловодны (питание в основном снеговое), а зимой в большинстве промерзшие.

					Объект и метод исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40



## 2.1.4 Климат

Природно-климатические условия района изысканий, характеризуются предельно высокими значениями всех показателей суровости климата. В связи с коротким вегетационным периодом и минимальной суммой активных температур, комфортный период для проживания здесь составляет менее двух месяцев.

Согласно климатическому районированию для строительства, исследуемый район расположен в зоне ИД, по районированию северной строительно-климатической зоны, относится к зоне с наиболее суровыми условиями, а по степени влажности относится к сухой зоне. Географическое положение территории определяет её климатические особенности. Данную территорию почти не достигают Атлантические и Тихоокеанские воздушные массы, поэтому арктические циркуляции воздуха являются климатообразующим фактором.

Климат района резко континентальный, отличается длинной, суровой зимой (с октября по апрель) и непродолжительным летним периодом. Главными факторами, определяющими такое своеобразие климата, являются характер циркуляции воздушных масс и физико-географические условия территории, ее удаленность и отгороженность от Атлантического и Тихого океанов, открытость со стороны Северного Ледовитого океана. В зимний период территорию охватывает мощный Азиатский антициклон. В нем происходит формирование континентального, очень холодного воздуха, устанавливается ясная сухая погода, способствующая сильному охлаждению земной поверхности и нижних слоев воздуха. Особенно сильное выхолаживание происходит в долинах рек и котловинах, куда стекает холодный воздух, и зимние температуры достигают исключительно низких значений.

Климатическая характеристика района изысканий представлена по многолетним наблюдениям на ближайшей метеостанции Дорожный (Н = 352

					<i>Объект и метод исследования</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

м), открытой в 1944 г. И расположенной в 83 км северо-восточнее участка изысканий.

Температура воздуха. Многолетняя средняя годовая температура воздуха, имеет отрицательное значение (минус 6,3 °С). Абсолютный минимум температуры воздуха отмечался в декабре – минус 59,6 °С. Среднегодовая амплитуда температур составляет 46,2 °С. Переходные сезоны года кратковременны и характеризуются большими суточными амплитудами температуры воздуха.

Ветер. Над рассматриваемой территорией большую часть года преобладают юго-западные воздушные течения. Сезонная смена полей давления определяет ветровой режим территории, однако ее сложные орографические условия вносят значительные изменения.

Средняя годовая скорость ветра по м/ст Дорожный составляет 2,0 м/с. В годовом ходе максимум скорости ветра наблюдается в апреле – мае и составляет 2,2 м/с, минимум в августе – 1,6 м/с. Наибольшая скорость ветра, возможная один раз в 10 лет составляет 21 м/с, раз в 20 лет 23 м/с. Скорость ветра, вероятность превышения которой составляет 5 % равна 5 м/с.

Осадки. Годовое количество осадков невелико, колеблется в разные годы в пределах 300-400 мм и распределяется по временам года неравномерно. Среднегодовое количество осадков на м/ст Дорожный составляет 352 мм. В летне-осенний период (апрель-октябрь) выпадает около 75 % от годовой суммы. Количество дней с жидкими осадками равно 71. В годовом ходе осадков минимум наблюдается в феврале – марте (12 мм). Среднегодовое число дней с твердыми осадками составляет 148. Наибольшее их количество выпадает в июне – августе (55–50 мм). Максимальное суточное количество осадков 1% обеспеченности по м/ст Дорожный составляет 58 мм.

Снежный покров. Снежный покров появляется в первой декаде октября и окончательно формируется к концу месяца. Высота снежного покрова в среднем составляет 46 см, наибольшая средняя декадная высота снежного

					Объект и метод исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

покрова по постоянной рейке составляет 63 см. С открытой местности снег часто сдувается, в результате чего на защищенных от ветра участках высота снега, как правило, на 5-15 см больше, чем на открытых. Так наибольшая высота снежного покрова по снегосъемкам (в лесу) на последний день декады составила 83 см.

Расчетное значение веса снегового покрова на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности принимается в зависимости от снегового района по таблице 10.1 (СП 20.13330.2016) и обязательного приложения Карты 1 (районирование территории РФ по весу снегового покрова). Район изысканий по весу снегового покрова относится к IV району, согласно этому:  $S_g = 2,0$  кПа.

Нормативное значение ветрового давления  $W_0$  принимается в зависимости от ветрового района (Карта 3, Приложение Ж СП 20.13330.2016) и таблицы 11.1 (СП 20.13330.2016). Исследуемая территория относится к району Ia. Согласно ветровому району Ia и таблицы 11.1 нормативное значение  $W_0 = 0,17$  кПа.

В соответствии с ПУЭ-7 (правила устройства электроустановок) нормативное ветровое давление на высоте 10 м над поверхностью земли для территории изысканий отнесено к III району (рисунок 2.5.1, таблица 2.5.1 ПЭУ-7) и равно 0,65 кПа.

Нормативная толщина стенки гололеда  $b$  принимается в зависимости от гололедного района (Карта 4, Приложение Ж СП 20.13330.2016) и таблицы 12.1 (СП 20.13330.2016). Исследуемая территория относится ко II району, для которого нормативная толщина стенки гололеда принимается равной 5 мм.

Согласно ПУЭ-7 нормативная толщина стенки гололеда плотностью 0,9 г/см<sup>3</sup> принята (таблица 2.5.3 – Нормативная толщина стенки гололеда для высоты 10 м над поверхностью земли, рисунок 2.5.2 – карта районирования территории России по толщине станки гололеда) составляет 20 мм (таблица 3.26). Район изысканий относится к III району.

					<i>Объект и метод исследования</i>	<i>Лист</i>
						43
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

### 2.1.5 Рельеф и геоморфология

Основной отпечаток в рельефе оставило среднечетвертичное оледенение, носившее полупокровный характер.

Морфологически рельеф представляет собой волнистое плато на линейно-складчатых карбонатно-глинистых породах юры. Это плато выработалось на основных синклинальных структурах с пологим или горизонтальным залеганием глинисто-карбонатных пород, неустойчивых к процессам эрозии и денудации.

По преобладанию рельефообразующих экзогенных факторов изучаемая территория расположена в пределах эрозионно – денудационного типа рельефа, сформировавшегося в результате воздействия агентов избирательной денудации в процессе неотектонических поднятий территории.

Рельеф слаборасчлененный, полого-увалистый с широкими междуречьями, широкими террасированными речными долинами и котловинами, врезанными на глубину 100-600 м. Наиболее характерным типом рельефа являются холмистые и холмисто-грядовые поверхности, широко распространенные в нижних частях склонов долин.

Характерной особенностью района является аласовый рельеф с множеством округлых понижений термокарстового происхождения, частично заполненных водой.

### 2.1.6 Гидрогеологические условия

Существенное влияние на гидрогеологические условия района оказывает развитие ММГ.

В сфере взаимодействия проектируемых объектов с геологической средой из горизонтов, которые могут оказать воздействие на их строительство и эксплуатацию, выделяются надмерзлотные воды, представленные водами сезонно-талого слоя и воды подрусловых таликов.

					Объект и метод исследования	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Подземные воды разделены на временно существующие воды сезонно-талого слоя и постоянно существующие воды подруслового таликов.

Надмерзлотные воды сезонно-талого слоя образуются при оттаивании верхней части пород в летне-осеннее время. Основное питание их происходит за счет атмосферных осадков. Их движение происходит в соответствии с уклоном поверхности с наиболее приподнятых и расчлененных участков к пониженным. На плоских поверхностях движение или очень замедлено, или совсем отсутствует. Глубина появившегося уровня грунтовых вод соответствует глубине установившегося уровня грунтовых вод, воды безнапорные. Водовмещающими грунтами являются суглинки и пески. Водоупорным служат многолетнемерзлые грунты.

Подземные воды несквозных таликов приурочены к долинам рек. Питание этих вод происходит главным образом за счет инфильтрации атмосферных осадков и частично речных вод. Подрусловые талые воды движутся вдоль долины реки и имеют сток в течение года. Кроме того, в них местами происходит питание и разгрузка глубинных вод. Водовмещающими являются песчаные и супесчано-суглинистые отложения различной мощности. Нижним водоупором служит толща многолетнемерзлых грунтов.

### 2.1.7 Геокриологические условия

Район изысканий характеризуется распространением сезонноталых и мёрзлых грунтов. Граница между сезонноталыми и многолетнемерзлыми грунтами условная, т.к. в зависимости от погодных и техногенных условий глубина протаивания - промерзания может изменяться.

По типу мерзлотных условий изыскиваемый участок расположена в зоне сливающейся мерзлоты, местами на территории изысканий может быть встречен несливающийся тип (участки с распространением талых грунтов).

Показателем прочностного состояния многолетнемерзлых грунтов (ММГ) является льдистость, так как при оттаивании происходит осадка поверхности.

					<i>Объект и метод исследования</i>	<i>Лист</i>
						45
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Мёрзлые грунты имеют различные криогенные текстуры. Песчано-глинистые грунты обладают слоистой и массивной криотекстурой, торф – атакситовой.

Криогенное строение грунтов во многом определяется их литологическим составом и влажностью.

### **2.1.8 Геологические и инженерно-геологические процессы**

В пределах исследуемой территории развит широкий комплекс криогенных геологических процессов, наиболее интенсивно протекающих в деятельном слое. Наиболее распространенными являются процессы, связанные с оттаиванием льдистых пород (термокарст), промерзание влажных пород (сезонного пучение, криогенное растрескивание), водно-балансовые процессы (заболачивание и подтопление территории).

Интенсивность сезонного пучения определяется глубиной сезонного оттаивания, литологией грунтов и их влажностью.

На участках развития глинистых грунтов и торфяников с повышенной льдистостью, возможно формирование различных по форме и размерам бугров, связанных с сезонным пучением деятельного слоя.

Процесс заболачивания, т.е. формирование избыточно увлажненных участков, покрытых специфической болотной растительностью, широко развит на исследуемой территории. Низинные болота, расположенные в понижениях рельефа, картируются в поймах водотоков. Верховые болота встречаются на выровненных водоразделах.

## **2.2 Метод исследования**

Для решения поставленной задачи нужно построить САД модель объекта исследования. На основе созданной модели и программного комплекса Ansys произвести расчет стационарного температурного поля корпуса шарового крана

					Объект и метод исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

**Ansys** представляет собой универсальную программную систему анализа, использующую за свою основу метод конечных элементов (МКЭ). **Ansys** широко применяют в системе автоматизированного проектирования (САПР). Метод конечных элементов является численным методом, позволяющим решать дифференциальные уравнения с частными производными. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела, теплообмена, гидродинамики, электродинамики и топологической оптимизации. Суть метода заключается в разбиении рабочей модели на сетку, состоящую из определенного количества элементов. После этого точно или приближенно изучают стационарное температурное поле каждого конечного элемента методами.

Конкретно наша задача решается в модуле **ANSYS Steady State Thermal** (англ. "стационарное тепловое состояние") - это модуль программного комплекса ANSYS, предназначенный для проведения анализа теплопередачи и расчета тепловых полей в стационарных условиях. Он широко используется в инженерных отраслях, где важными являются тепловые процессы и тепловая устойчивость систем.

В ANSYS Steady State Thermal можно моделировать и анализировать различные аспекты теплопередачи, включая:

**Тепловые нагрузки:** Модуль позволяет моделировать различные источники тепла, такие как электрические компоненты, солнечное излучение, химические реакции и другие источники тепловой энергии.

**Теплопроводность:** Модуль рассчитывает распределение температур и потоки тепла в стационарных условиях, учитывая свойства материалов, теплопроводность и граничные условия.

**Теплообмен:** ANSYS Steady State Thermal позволяет анализировать теплообмен между различными компонентами системы, такими как теплообменники, радиаторы, конвективные поверхности и другие элементы.

					<i>Объект и метод исследования</i>	<i>Лист</i>
						47
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Тепловое напряжение: Модуль также предоставляет возможность рассчитывать тепловые напряжения и деформации, которые могут возникать в результате неравномерного распределения температуры в системе.

Оптимизация системы: с помощью ANSYS Steady State Thermal можно проводить оптимизацию системы с целью достижения оптимального распределения температур, минимизации тепловых нагрузок или улучшения теплообмена.

Визуализация результатов: Модуль предоставляет возможность визуализации тепловых полей и распределения температур с помощью различных графических инструментов.

ANSYS Steady State Thermal является мощным инструментом для проведения анализа теплопередачи и теплового проектирования. Он помогает инженерам и дизайнерам оптимизировать системы, обеспечивая безопасность и эффективность работы в условиях стационарного теплового состояния.

**ANSYS Static Structural** - это модуль пакета программ ANSYS, который используется для проведения структурного анализа и решения задач статической прочности. Он широко применяется в инженерных и проектировочных областях для моделирования и прогнозирования поведения конструкций при различных нагрузочных условиях.

Модуль использует метод конечных элементов (МКЭ) для дискретизации конструкции на более мелкие элементы, что позволяет рассчитывать напряжения, деформации, перемещения и другие структурные характеристики. Он способен анализировать линейные и нелинейные структурные проблемы, включая анализ статических напряжений, модальный анализ, анализ устойчивости и другие.

Основные возможности и функционал ANSYS Static Structural включают:

					Объект и метод исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48



- Анализ нагрузки: Модуль позволяет применять различные виды нагрузок, такие как силы, давления, тепловые нагрузки и ограничения, для моделирования реальных эксплуатационных условий.
- Модели материалов: Он поддерживает широкий спектр моделей материалов, включая линейно-упругие, пластичность, гиперупругость и вязкоупругость, обеспечивая точное представление поведения материалов.
- Анализ контакта: ANSYS Static Structural может моделировать взаимодействие контакта между различными частями или компонентами конструкции, включая связанный, трениевый и скользящий контакты.
- Нелинейный анализ: Он может обрабатывать нелинейности, такие как большие деформации, нелинейности материалов, геометрические нелинейности и нелинейности контакта, обеспечивая более реалистичные и точные результаты.
- Анализ устойчивости: Модуль может предсказывать критическую нагрузку и моды колебаний конструкций, позволяя инженерам оценить их устойчивость и разрабатывать против обрушения.
- Модальный анализ: Он позволяет определить собственные частоты, формы колебаний и коэффициенты демпфирования конструкций, предоставляя информацию о динамическом поведении и потенциальных проблемах

**Метод конечных элементов (МКЭ)** является численным методом, используемым для решения различных задач в инженерии и науке, основанных на дифференциальных уравнениях. Он широко применяется для моделирования и анализа поведения сложных систем, таких как структуры, теплопередача, электромагнетизм и другие.

Основной идеей метода конечных элементов является разбиение анализируемой области на множество более простых и малых подобластей,

					<i>Объект и метод исследования</i>	<i>Лист</i>
						49
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

называемых конечными элементами. Эти элементы могут иметь различные геометрические формы, такие как треугольники, четырехугольники, тетраэдры или гексаэдры. Каждый конечный элемент описывается набором узлов, где вычисления выполняются.

Процесс решения методом конечных элементов включает следующие шаги:

**Дискретизация:** Анализируемая область разбивается на конечные элементы. Это может быть выполнено вручную или автоматически с использованием специальных программных инструментов.

**Формулирование уравнений:** Уравнения, описывающие поведение системы, такие как уравнения механики, теплопроводности или электромагнетизма, записываются в каждом конечном элементе. Это может включать уравнения равновесия, законы сохранения энергии и другие соответствующие физические законы.

**Приближение решения:** Для каждого конечного элемента выбирается математическая функция, называемая интерполяционной функцией, которая аппроксимирует решение внутри элемента. Обычно используются полиномиальные функции, их комбинации или специальные функции, такие как функции формы.

**Создание системы уравнений:** Используя уравнения для каждого конечного элемента и граничные условия, создается система линейных или нелинейных уравнений, представляющая всю систему.

**Решение системы уравнений:** Система уравнений решается численно, используя методы линейной или нелинейной алгебры. Результаты расчета включают значения искомых переменных в узлах или внутри конечных элементов.

**Граничные условия** в методе конечных элементов определяются на границе анализируемой области и используются для задания значений или связей, необходимых для решения задачи. Граничные условия определяются для того, чтобы учесть взаимодействие системы с окружающей средой или

					<i>Объект и метод исследования</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50

другими объектами.

В зависимости от типа задачи и физического поведения системы могут применяться различные виды граничных условий. Вот некоторые распространенные типы граничных условий:

**Условия Дирихле:** Граничные условия первого рода, также известные как условия Дирихле, задают конкретные значения искомой переменной на границе системы. Например, это могут быть фиксированные значения температуры, давления или перемещения на определенных участках границы.

**Условия Неймана:** Граничные условия второго рода, известные как условия Неймана, определяют производные или потоки через границу системы. Например, это может быть задание потока тепла или силы, действующей на границе.

**Условия Робина:** Граничные условия третьего рода, также известные как условия Робина или смешанные условия, комбинируют значения переменных и их производных на границе системы. Такие условия могут включать комбинацию заданных значений и производных, а также связи между переменными на границе.

**Условия свободной поверхности:** В некоторых задачах, например, в аэродинамике или гидродинамике, может потребоваться определение граничных условий для свободной поверхности, где не задаются конкретные значения, но ограничивается взаимодействие системы с окружающей средой.

**Условия симметрии:** Если система обладает симметрией, то на границе, где применяется условие симметрии, задаются соответствующие свойства симметрии. Например, в случае осевой симметрии граница может быть симметричной относительно оси, что приводит к условиям, отражающим эту симметрию.

**Закон Фурье,** также известный как закон теплопроводности, описывает передачу тепла через твердое вещество или проводник. Он был

					<i>Объект и метод исследования</i>	<i>Лист</i>
						51
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

сформулирован французским физиком Жан-Батистом Д'Аламбром Фурье в 19 веке и является одним из основных законов теплопередачи.

Закон Фурье утверждает, что поток тепла (тепловая энергия, переносимая через поверхность вещества) пропорционален градиенту температуры в направлении передачи тепла. Формально, закон Фурье может быть выражен следующим уравнением:

$$q = -k * \nabla T \quad (1)$$

где:

- $q$  представляет собой поток тепла (в единицах энергии, переносимой через площадную единицу в единицу времени),
- $k$  - коэффициент теплопроводности материала,
- $\nabla T$  - градиент температуры (векторная величина, указывающая направление и величину наибольшего изменения температуры).

Таким образом, закон Фурье гласит, что поток тепла пропорционален разности температур вдоль градиента температуры, а коэффициент теплопроводности определяет способность вещества проводить тепло. Чем выше значение коэффициента теплопроводности, тем лучше материал проводит тепло.

Закон Фурье применим для описания теплопередачи в различных системах, включая твердые тела, жидкости и газы. Он является важным инструментом в тепловом анализе и инженерии, позволяя предсказывать распределение температуры и проектировать эффективные системы охлаждения и теплообмена.

### 3 Теплотехнический расчет обогрева запорно-регулирующей арматуры

#### 3.1 Построение CAD модели шарового крана

Перед началом работ аналитического сравнения необходимо построить CAD модель шарового крана. Создание трехмерной модели производилось в программном комплексе Autodesk Inventor.

Для построения CAD модели был выбран наиболее часто подвергающийся замерзанию шаровой кран с условным

Исходные данные и чертеж для построения CAD модели представлены ниже (Рис. 8) (Табл. 3)

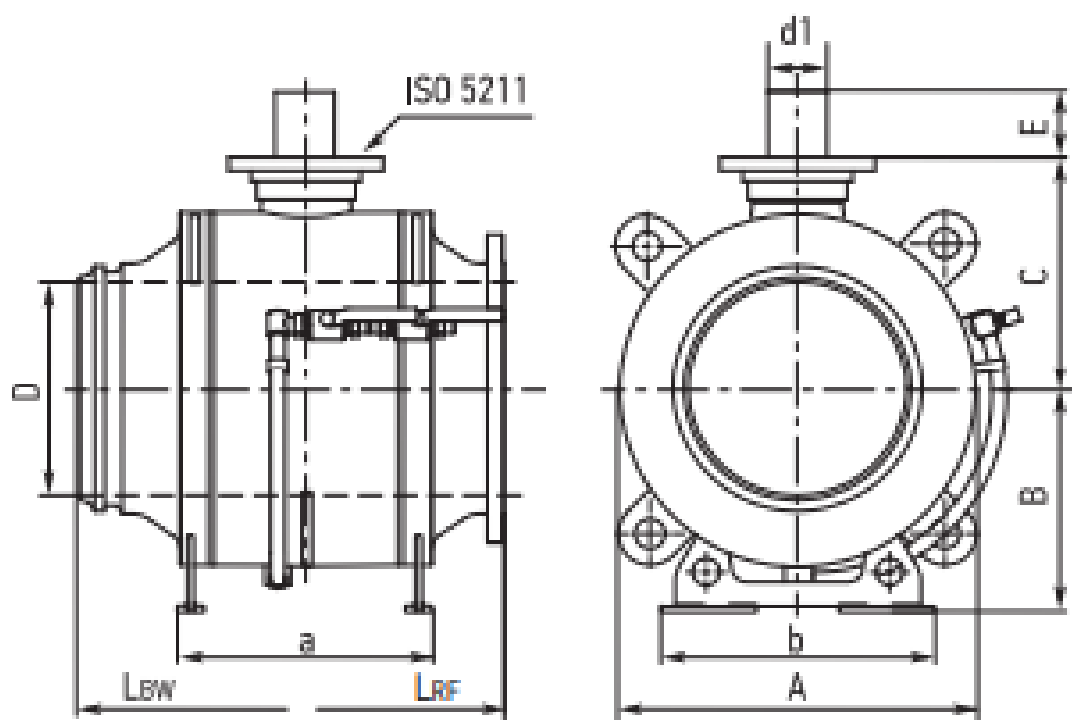


Рисунок 8 – Чертеж шарового крана

					«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газокompрессорной станции в условиях низких температур.»		
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата			
Разраб		Никифоров Н.В.			Теплотехнический расчет обогрева запорно-регулирующей арматуры		
Пров		Никольчиков В.К.					
Рук. ОПП		Шадрина А.В.			Лит.	Лист	Листов
						53	108
					ОНД гр. 2БМ11		

Таблица 3 Типовые размеры шаровых кранов ПТПА

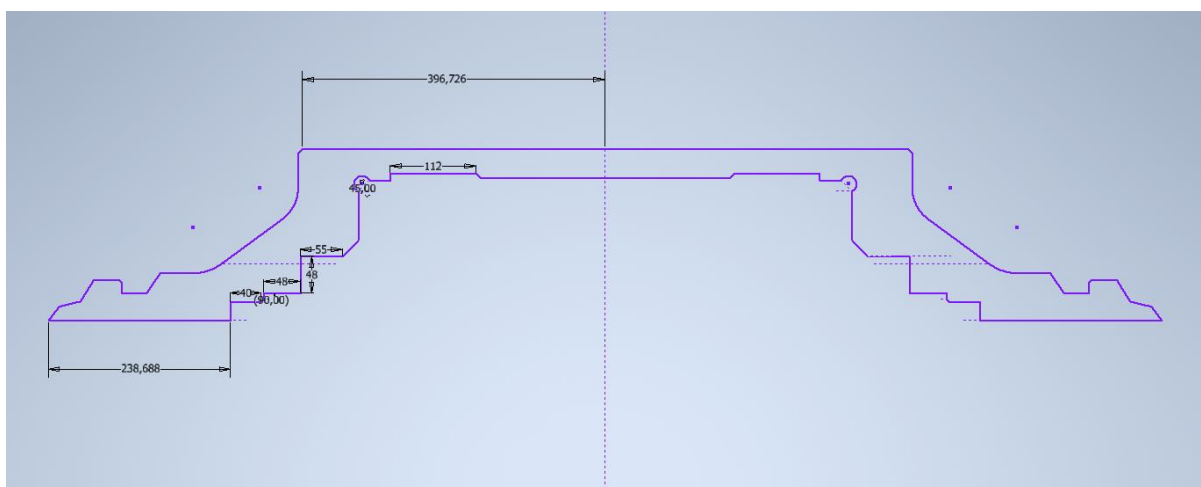


Рисунок 9 – Эскиз корпуса шарового крана

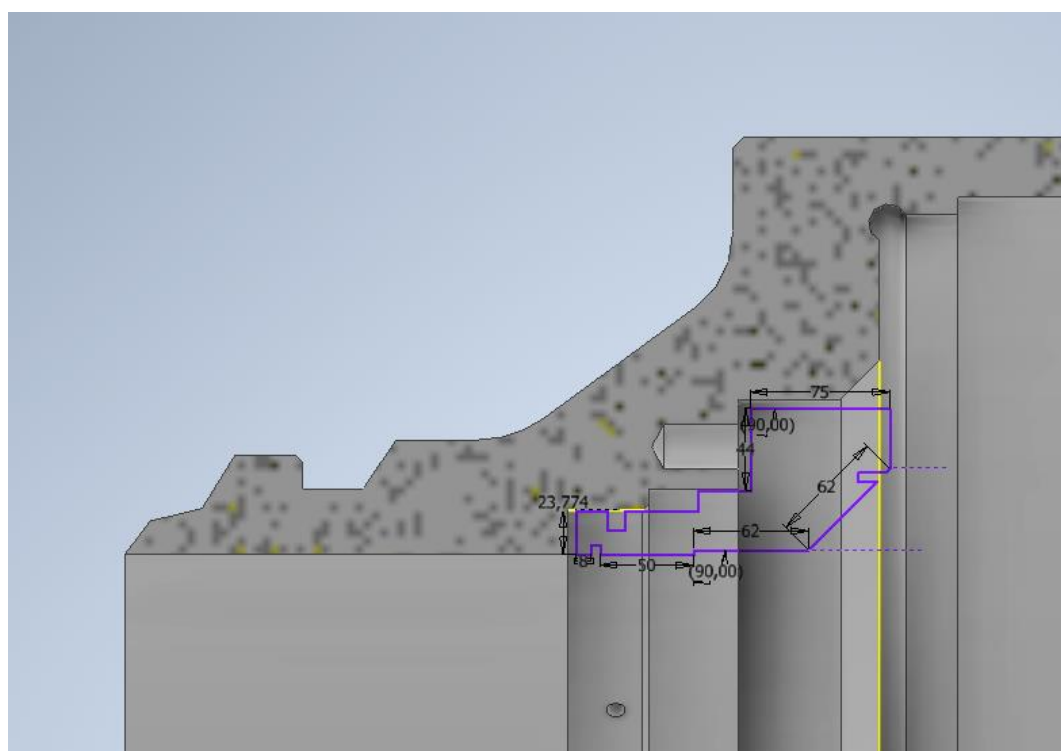


Рисунок 10 – Эскиз уплотнительного кольца шаровой пробки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Теплотехнический расчет обогрева запорно-регулирующей арматуры

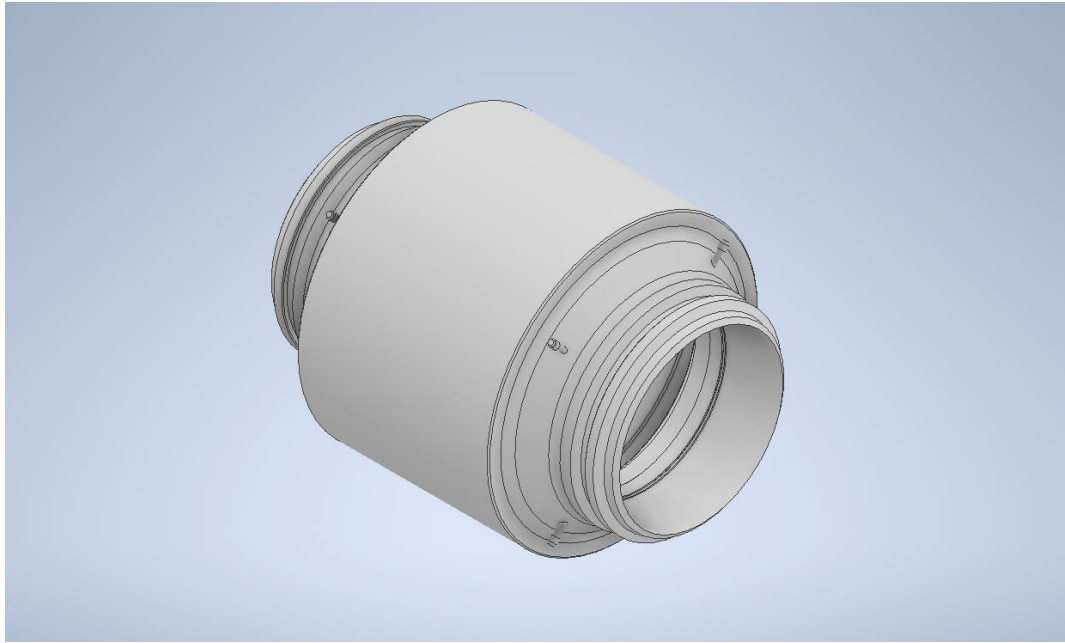


Рисунок 11– CAD модель шарового крана

При построении CAD модели принимались следующие допущения:

Для упрощения расчета в программном комплексе Ansys Workbench шпиндель и шаровая пробка не моделировались так как для решения задачи

достаточно определить температурное поле на самом корпусе и на уплотнительных кольцах

### 3.2 Расчет и оценка стационарных температурных полей в программном комплексе Ansys Workbench

*Постановка задачи.* Рассчитать стационарное температурное поле шарового крана и напряжения, возникающие при тепловом воздействии электронагревателя.

*Цель.* Определить температуру греющей пленки при котором

[REDACTED]

*Исходные данные:* [REDACTED]

[REDACTED]

Перед тем, как запускать решатель необходимо указать граничные условия, чтобы программа смогла рассчитать задачу.

Граничные условия для задачи будут соответствовать условиям режима ГПА «резерв». При проведении расчета были приняты следующие допущения:

- Теплотери при передаче тепла пренебрегаются так как обеспечивается плотный контакт греющего элемента и корпуса шарового крана
- Теплотери в окружающую среду пренебрегаются так как греющий элемент находится под слоем теплоизоляции



Таблица 4 – Граничные условия

Температура окружающей среды, °С	■	■
Температура внутри трубы, °С	■	■
Температура греющего элемента, °С	■	■
Марка стали	■	
Конвекция	■	

Решатель модуля программного комплекса Ansys Steady State thermal конкретно для нашей задачи основывается на законе Фурье.

■  
 ■  
 ■  
 ■  
 ■  
 ■  
 ■  
 ■  
 ■  
 ■

Так как модуль Steady State thermal использует для вычисления дифференциальное уравнение теплопроводности, чтобы получить конкретное решение уравнения для рассматриваемого случая, необходимо ввести полное математическое описание данного конкретного процесса теплопроводности. Эти частные особенности называются условиями однозначности или

граничными условиями.

В нашем же случае принимаются граничные условия третьего рода.

Граничные условия третьего рода. Задается температура окружающей среды  $t_{ж}$  и закон теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой:  $q = \alpha(t_c - t_{ж})$  если  $t_c > t_{ж}$ , где  $\alpha$  – коэффициент теплообмена, представляющий собой плотность теплового потока подведенного к единице поверхности тела при разности температур между поверхностью тела и окружающей среды  $1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  град.

Результаты моделирования при температуре окружающей среды минус  $30^{\circ}\text{C}$  и температуре греющего элемента плюс  $21,5^{\circ}\text{C}$  показаны на рисунках.

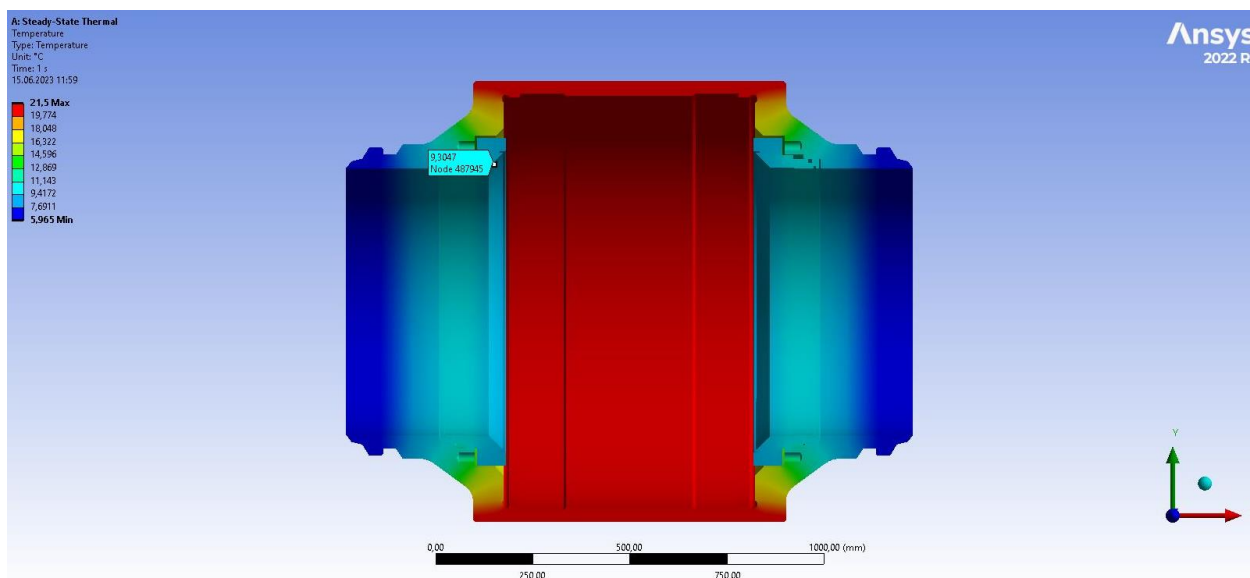


Рисунок 12 Температурное поле при температуре окружающей



					<i>Теплотехнический расчет обогрева запорно-регулирующей арматуры</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

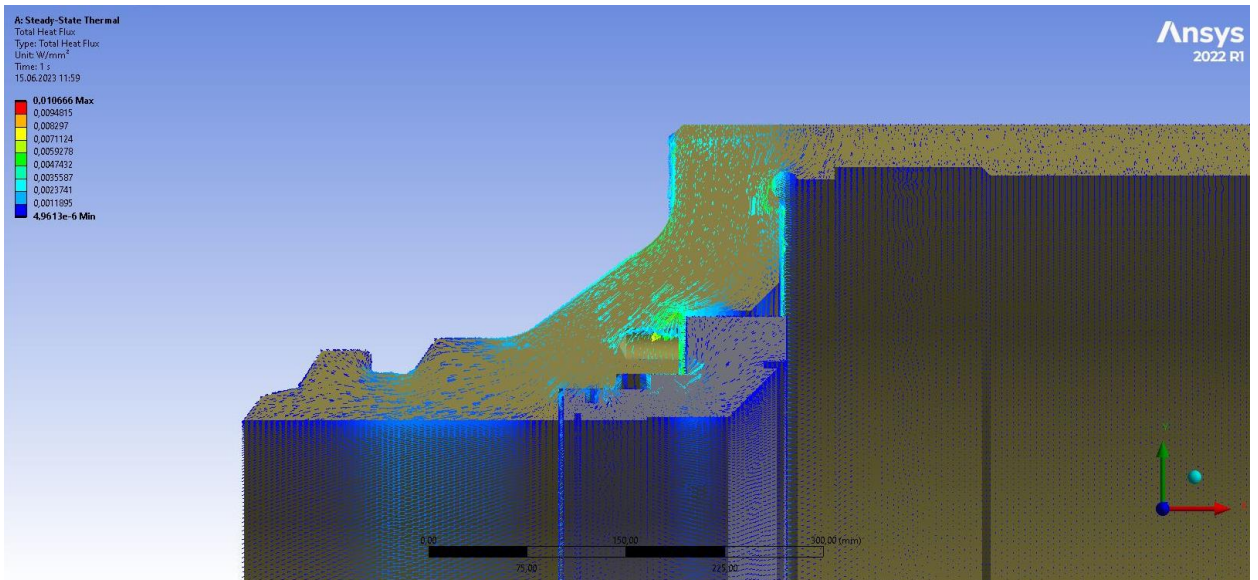


Рисунок 13 Тепловой поток при температуре греющего [REDACTED]

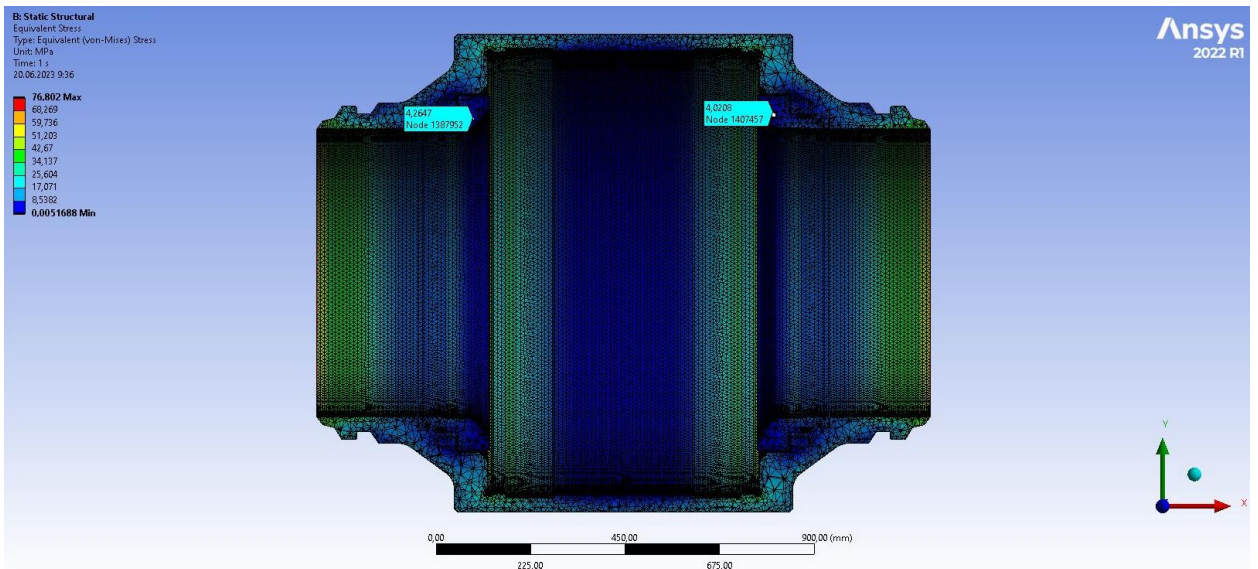


Рисунок 14 Напряжения возникающие при тепловом воздействии греющего элемента с температурой [REDACTED]

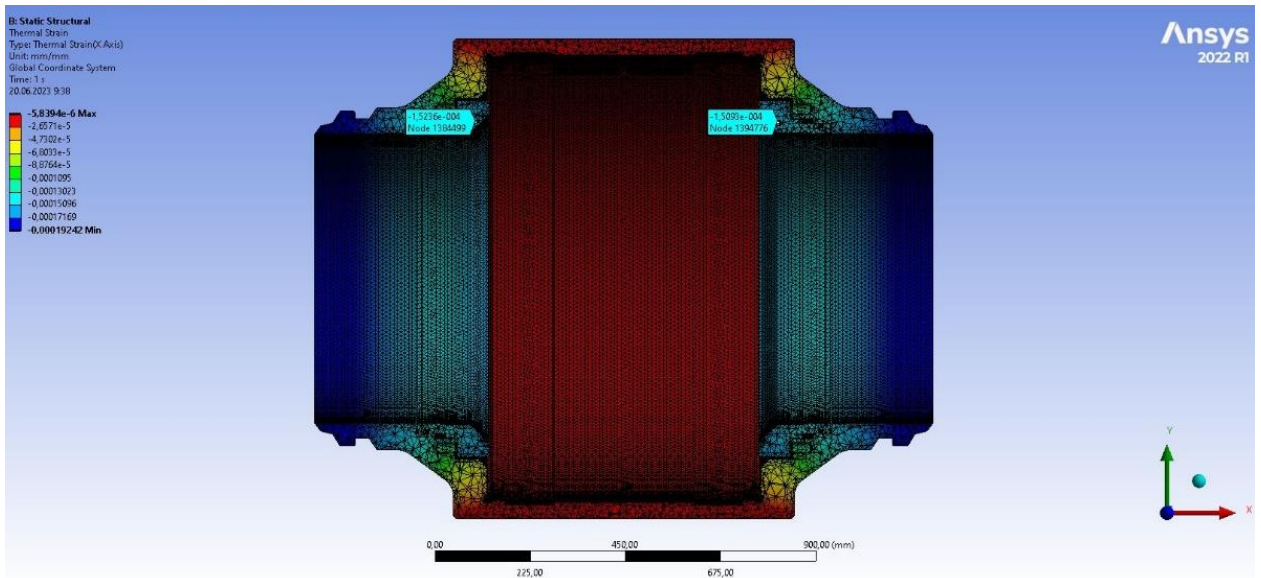


Рисунок 15 Тепловая деформация при тепловом воздействии греющего элемента с температурой [REDACTED]

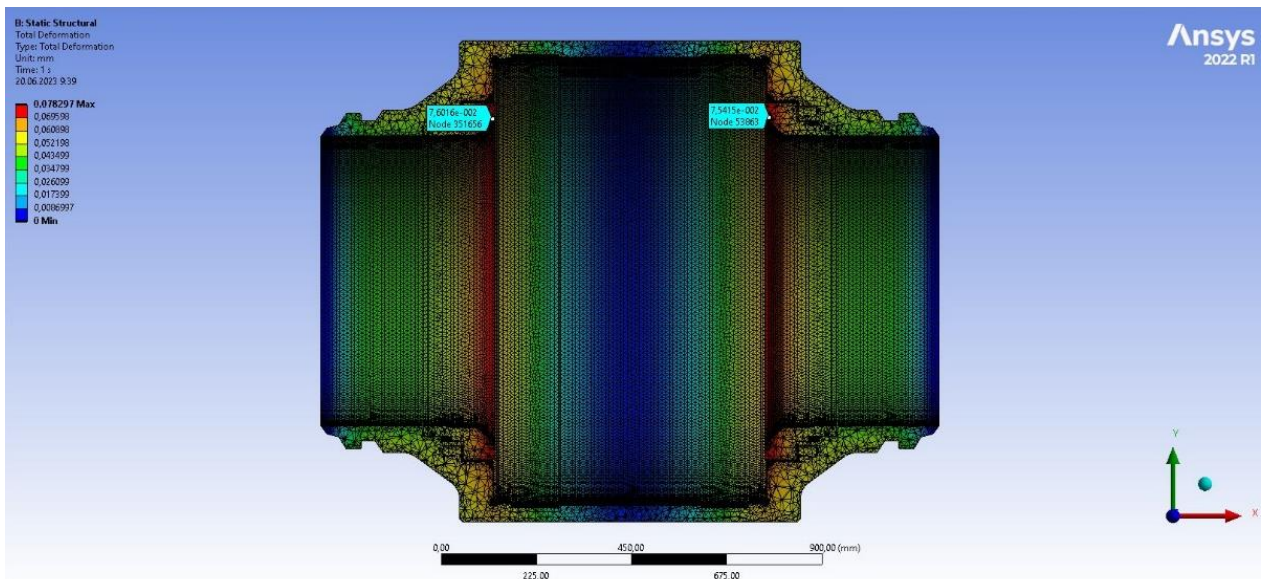


Рисунок 16 Общая деформация при тепловом воздействии греющего элемента с температурой [REDACTED]

					Теплотехнический расчет обогрева запорно-регулирующей арматуры	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

[Redacted text]

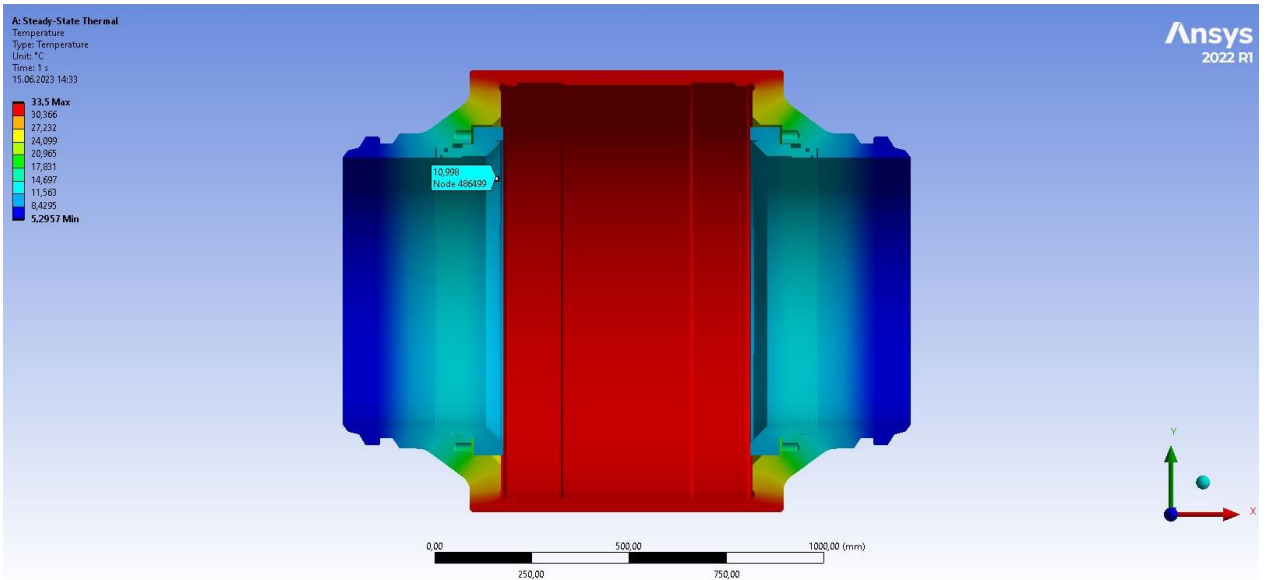


Рисунок 17 Температурное поле при температуре окружающей

[Redacted text]

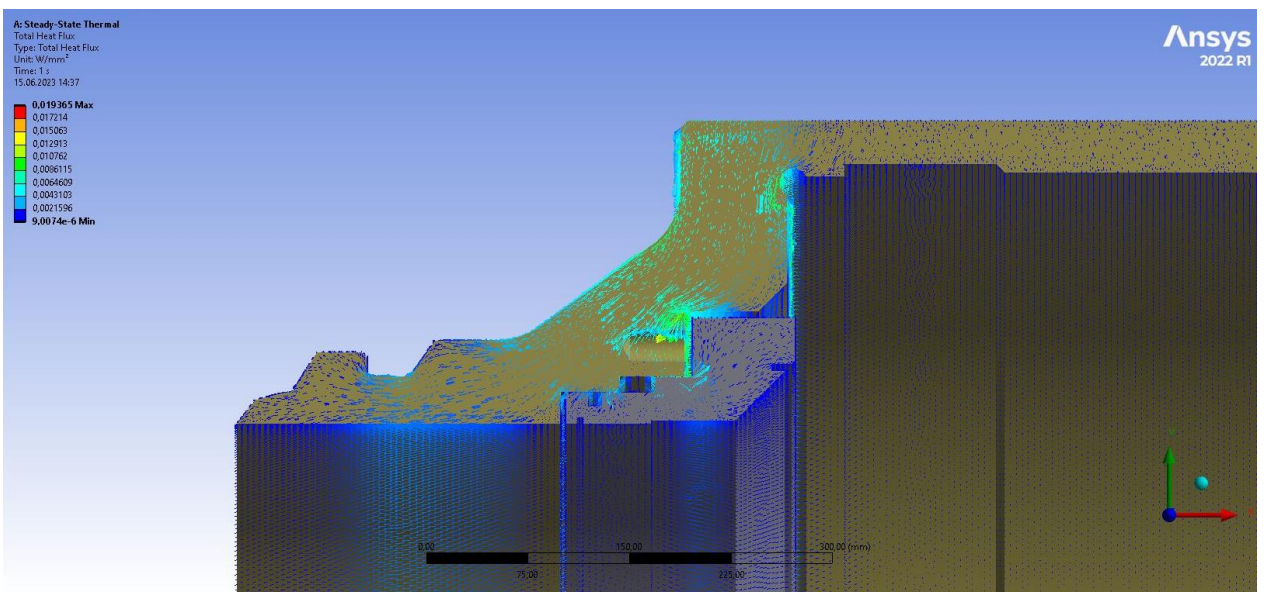


Рисунок 18 Тепловой поток при температуре греющего

[Redacted text]

					Теплотехнический расчет обогрева запорно-регулирующей арматуры	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

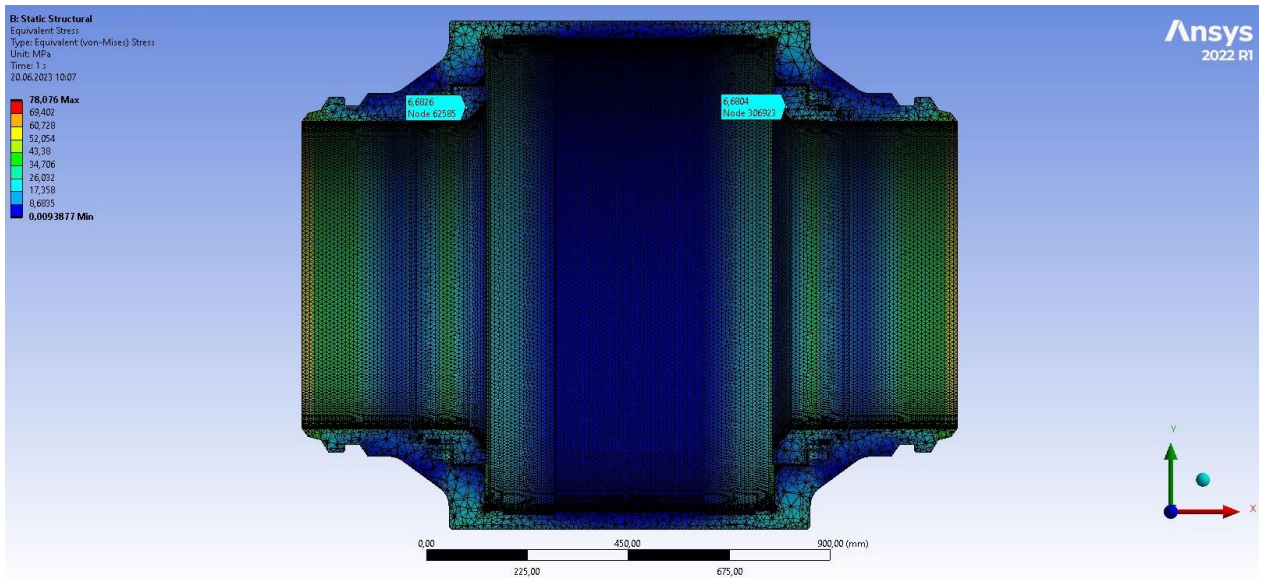


Рисунок 19 Напряжения возникающие при тепловом воздействии греющего элемента с температурой [REDACTED]

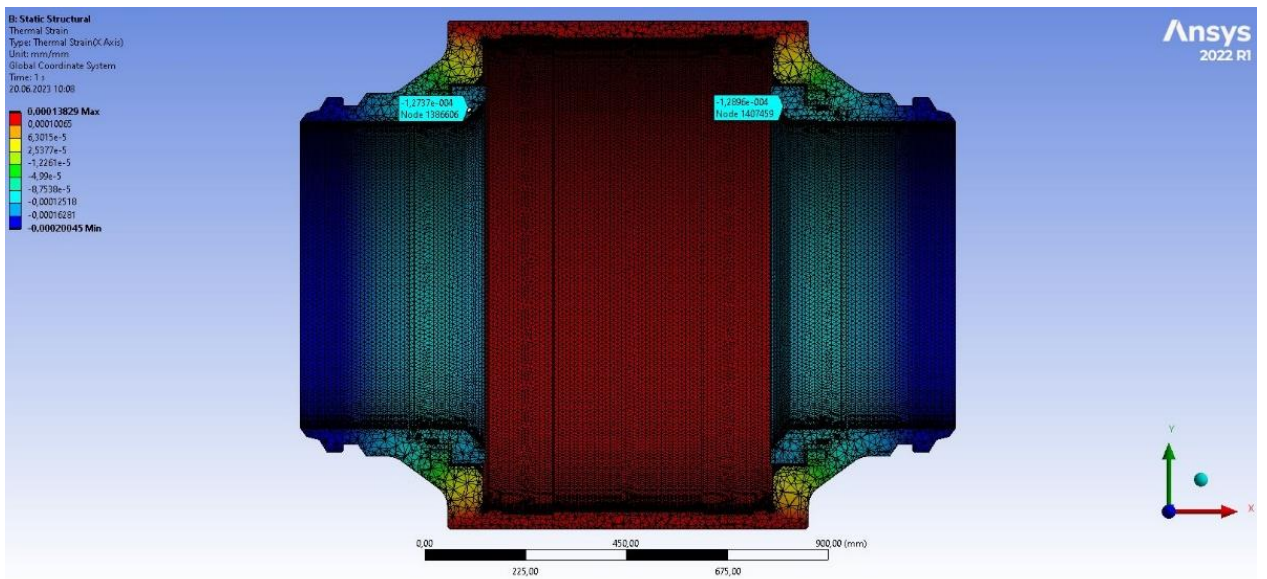


Рисунок 20 Тепловая деформация при тепловом воздействии греющего элемента с температурой [REDACTED]

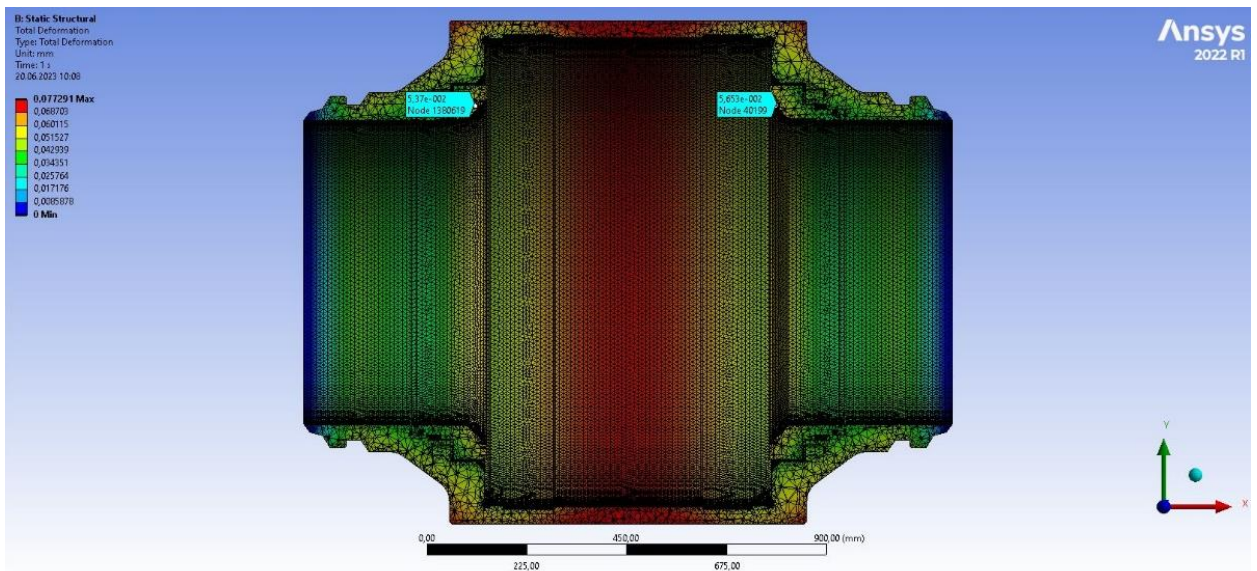


Рисунок 21 Общая деформация при тепловом воздействии греющего элемента с температурой [REDACTED]

[REDACTED]

Сравнительные данные анализа приведены на таблице 5.

Таблица 5 Сравнительный анализ результатов расчета

Температура окружающей среды, °С	[REDACTED]	[REDACTED]
Температура внутри трубы, °С	[REDACTED]	[REDACTED]
Необходимая температура греющего элемента для поддержания $t \leq 5^\circ\text{C}$ в зоне контакта уплотнительного кольца и шара, °С	[REDACTED]	[REDACTED]
Температура в зоне контакта уплотнительного кольца и шара, °С	[REDACTED]	[REDACTED]
Тепловая деформация по оси X в зоне контакта уплотнительного кольца и шара, мм/мм	[REDACTED]	[REDACTED]
Общая деформация в зоне контакта уплотнительного кольца и шара, мм	[REDACTED]	[REDACTED]
Энергопотребление греющего элемента, кВт·ч	[REDACTED]	[REDACTED]

### 3.3 Улучшение эффективности и надежности с использованием альтернативной смазки

На данный момент во время эксплуатации для предупреждения и устранения утечек газа через неплотности шарового крана используется смазка САГ тип 2. Уплотнительная смазка САГ-2 предназначена для смазывания трущихся поверхностей и предотвращения утечек газа, включая сероводород, при ремонтно-техническом обслуживании. Она эффективно закупоривает дефекты шириной до 1 мм и позволяет проводить обслуживание арматуры с диаметром до 1400 мм, работающей в широком диапазоне температур от -50 до +180°C.

Так как конкретно на нашем объекте максимальная технологическая температура газа на выходе с первой и второй ступени сжатия центробежного компрессора составляет +175°C, а также минимальная температура окружающей среды в самом холодном месяце достигает до минус 60°C, есть вероятность ухудшения свойств смазки САГ тип 2.

Чтобы повысить эффективность и надежность работы запорно-регулирующей арматуры предлагается использовать смазку ТОМФЛОН ЭПМ50 с улучшенными свойствами, разработанной Томской компанией ООО «Фторполимерные технологии». ТОМФЛОН ЭПМ50 - синтетическая морозостойкая смазка, созданная на основе смеси силиконового, синтетического полиальфаолефинового и авиационного масел, а также содержащая ультрадисперсный порошок политетрафторэтилена и литиевые мыла технической 12-оксистеариновой кислоты. Она предназначена для смазывания механизмов электроприводов с высоким крутящим моментом (от 10000 до 50000 Нм) и рекомендуется для использования в условиях сильных нагрузок трения.

Смазка обладает отличной механической стабильностью и превосходными трибологическими свойствами. Она может использоваться в

					Теплотехнический расчет обогрева запорно-регулирующей арматуры	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64



контакте с сероводородом, соленой водой, различными маслами, кислотами, щелочами, углекислым газом и другими газами, за исключением чистого кислорода. Формирующаяся на поверхности трения микронная пленка политетрафторэтилена (PTFE) обеспечивает защиту от коррозии и минимальное сопротивление сдвигу даже в экстремально холодных условиях Севера, в широком диапазоне температур от -60 до +200°С

Важно отметить, что ТОМФЛОН ЭПМ50 является нетоксичной смазкой и не содержит вредных компонентов, таких как свинец, цинк и другие опасные вещества.

Таблица 5 Показатели качества смазки ТОМФЛОН ЭПМ50

№пп	Показатели качества	Норма	Фактические данные
1.	Внешний вид и цвет	Однородная мазь от белого до светло-коричневого цвета	Соответствует
2.	Температура каплепадения, °С, не менее	235	240
3.	Коллоидная стабильность, %, при 2 Н, не более	2	1
4.	Вязкость эффективная при минус 60°С, и среднем градиенте скорости деформации 10 с <sup>-1</sup> , Па х с, не более	1200	1150
	при минус 15°С, и среднем градиенте скорости деформации 10 с <sup>-1</sup> , Па х с, не более	650	631
	при 0°С, и среднем градиенте скорости деформации 10 с <sup>-1</sup> , Па х с, не более	320	310
	при 20°С, и среднем градиенте скорости деформации 10 с <sup>-1</sup> , Па х с,	200	189
5.	Предел прочности на сдвиг при 20°С, Па, (в пределах)	800	786
	Предел прочности на сдвиг при 50°С, Па, (в пределах)	440	405
	Предел прочности на сдвиг при 80°С, Па, (не менее)	200	318
6.	Пенетрация при 25°С	310 - 340	310
7.	Смазывающие свойства при 20°С:		
	Индекс задира (Из)	15 - 16	15
	Нагрузка сваривания (Н)	4500 - 5500	6340
	Критическая нагрузка (Н)	980 - 1300	1210
8.	Механическая стабильность:		
	Исходный предел прочности, Па	800 - 900	825
	Индекс разрушения, %	24 - 29	25
	Индекс восстановления, %	26 - 31	30,4
9.	Массовая доля содержания механических примесей %	Отсутствуют	Отсутствуют
10.	Массовая доля воды, %	Отсутствует	Отсутствует
11.	Коррозионное воздействие на металлы (медь, сталь 45)	Выдерживает	Выдерживает
12.	Испаряемость при 180°С за 1 ч, %, не более	1	3,3

Исходя из результатов моделирования при различных температурных условиях, можно сделать вывод, что при экстремальных условиях, [REDACTED]

[REDACTED] контакта уплотнительного кольца и запорного элемента.

Для комплексного повышения надежности и эффективности работы запорно-регулирующей арматуры предлагается использовать смазку ТОМФЛОН ЭПМ50, разработанную компанией ООО "Фторполимерные технологии". Данная смазка обладает улучшенными свойствами и способна справиться с экстремальными условиями, такими как широкий диапазон температур и воздействие различных сред.

					<i>Теплотехнический расчет обогрева запорно-регулирующей арматуры</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной главе будет представлена оценка экономического эффекта от внедрения пленочных электронагревателей запорно-регулирующих арматур газокompрессорной станции высокого давления которая находится в Среднеботуобинском НГКМ.

### 4.1 Обоснование применения пленочных электронагревателей

В настоящее время, в условиях роста добычи нефти на районах крайнего севера, особое значение приобретает проблема утилизации попутного нефтяного газа (далее ПНГ).

Одно из направлений утилизации попутного нефтяного газа – это обратная закачка попутного нефтяного газа в пласт. Данный процесс дает для предприятия два эффекта:

1. Снижение затрат на выплаты за негативное воздействие окружающей среде (далее НВОС) (сжигание ПНГ на факельных установках);
2. Поддержание пластового давления путем закачки ПНГ.

В условиях низких температур одной из наиболее распространенных проблем в эксплуатации газокompрессорных станций является замерзание запорно-регулирующих арматур. Это приводит к остановкам оборудования, необходимости проведения сверхнормативных работ и в конечном итоге, к снижению эффективности и надежности работы станции.

В связи с простоем газокompрессорной станции, следовательно, остановом утилизации попутного нефтяного газа в пласт (сжигание ПНГ на факельных установках), на основании постановления Правительства РФ от 8 ноября 2012 года N 1148 «Об особенностях исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных

					«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газокompрессорной станции в условиях низких температур.»			
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата				
Разраб		Никифоров Н.В.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Пров		Никольчиков В.К.					67	108
Рук. ОПП		Шадрин А.В.				ОНД гр. 2БМ11		

установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа» предприятие производит не малое количество выплат что создает дополнительные расходы денежных средств.

#### 4.2 Разработка проекта внедрения пленочных электронагревателей

Надежность запорно-регулирующей арматуры имеет особое значение при эксплуатации газоперекачивающего агрегата так как при отказе из-за замерзания ЗРА простой газоперекачивающего агрегата в среднем занимает около 5 часов. Основные характеристики газоперекачивающего агрегата представлены на табл. 6

Таблица 6 Основные технические характеристики ГПА-25А

Наименование параметра и характеристики	Значение
Рабочее давление газа на входе первой ступени, МПа	■
Рабочее давление газа на выходе первой ступени, МПа	■
Рабочее давление газа на входе второй ступени, МПа	■
Рабочее давление газа на выходе второй ступени, МПа	■
Производительность, тыс. нм <sup>3</sup> /ч	■
Температура газа на входе, °С	■
Температура газа на выходе, °С	■

Основные технические характеристики пленочного электронагревателя XLI-300.2G-EP производства VITEX представлены на табл. 7

Таблица 7 Основные характеристики пленочного электронагревателя

Наименование параметра и характеристики	Значение
Ширина, мм	██████████
Мощность, Вт/м <sup>2</sup>	██████████
Толщина, мм	██████████
Режим работы, В	████████████████████ ████████████████████

#### 4.3 Оценка экономической эффективности от реализации проекта

Для оценки экономической эффективности инвестиционных проектов производится расчет следующих показателей:

- ЧДД – чистый дисконтированный доход;
- ИД – индекс доходности;
- ВНД – внутренняя норма доходности;
- срок окупаемости при учете фактора времени или дисконтирования

Чистый дисконтированный доход представляет собой текущую стоимость денежных потоков, с учетом требуемой нормы доходности проекта, по сравнению первоначальными инвестициями. На практике ЧДД – это метод оценки отдачи от инвестиций или рентабельности инвестиций для проекта или капитальных расходов. Рассматривая все будущие денежные потоки, которые вы ожидаете от инвестиций, и переводя эти потоки в сегодняшнюю стоимость, вы можете решить, выгоден ли проект.

Индекс рентабельности – удельный показатель, отражает доход в расчете на единицу инвестиций. Чем выше индекс рентабельности, тем

удачнее проект; проект отвергается, если индекс доходности меньше единицы.

Внутренняя норма доходности численно равна норме дисконта, при которой сумма дисконтированных притоков денежных средств равна величине дисконтированных оттоков денежных средств за расчетный период, то есть ЧДД=0. Показатель характеризует рентабельность проекта с учетом разновременности доходов и расходов, роста цен, выплаты налогов и т.д.

И наконец, срок окупаемости – это период времени, за который первоначальные затраты на реализацию проекта покрываются суммарными результатами (экономией) от его осуществления.

Экономический эффект от внедрения заключается в сокращении времени простоя газокompрессорной станции, следовательно, сокращении выплат за негативное воздействие окружающей среде.

Объем сжигаемого ПНГ за расчетный период связанных с отказом ЗРА рассчитываем по формуле:

$$Q = q \cdot t \cdot N \quad (3)$$

где, q – производительность ГПА, тыс. нм<sup>3</sup>/ч;

t – время простоя, час;

N – количество отказов, из-за замерзания ЗРА.

Сумма сэкономленных денежных средств на выплаты НВОС за расчетный период высчитываем по формуле:

$$P_t = (Q \cdot s)/1000 \quad (4)$$

где, Q – объем сжигаемого ПНГ, тыс. м<sup>3</sup>/год;

s – размер выплаты за НВОС, руб/тыс. м<sup>3</sup>.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

Размеры капитальных вложений определяется как сумма затрат на приобретение оборудования, транспортные, монтажные, пуско-наладочные расходы, рассчитываемые в процентах от стоимости приборов и средств автоматизации. Формула определения капитальных вложений будет иметь вид:

$$IC = C_T + T_p + M \quad (5)$$

где  $C_T$  – стоимость приобретаемого оборудования, тыс. руб;

$T_p$  – транспортные расходы;

$M$  – расходы на монтажные работы.

Затраты на транспортировку и монтажные работы, примем равными 6% и 8% соответственно от стоимости оборудования. При этих условиях размер капитальных вложений составит:



У пленочных электронагревателей отсутствуют расходные материалы, эксплуатационные затраты будут только на электроэнергию. Так как электронагреватели будут использоваться только при температуре окружающей среды равной или меньше минус 25°C период работы составит 5 месяцев в год. Формула электропотребления всех пленочных электронагревателей в год имеет следующий вид:

$$W = (W_1 \cdot n) \cdot 5 \quad (6)$$

где,  $W_1$  – энергопотребление одного электронагревателя, кВт·ч/мес;

$n$  – количество ЗРА которые необходимо нагревать.

$$W = (292,32 \cdot 76) \cdot 5 = 111081,6 \text{ кВт·ч/год}$$

Чистый дисконтированный доход определяют по следующей формуле:

$$PV = \sum_{t=0}^T \frac{(P_t - W)}{(1 + r)^t} - IC, \quad (7)$$

где,  $r$  – ставка дисконта.

Ставка дисконтирования по рекомендациям Министерства финансов равна 15%.

Индекс доходности (ИД) следует определять, как отношение суммы дисконтированных эффектов к сумме дисконтированных капитальных вложений:

$$PI = \frac{1}{IC} \sum_{t=0}^T \frac{(P_t - C_t)}{(1 + r)^t} \quad (8)$$

Рассчитанные показатели экономической эффективности представлена на табл. 8

Таблица 8 Показатели экономической эффективности

Показатели	Ед. изм.	$\Sigma$
Чистый дисконтированный доход (ЧДД) ( $i = 15\%$ ) NPV	тыс. руб.	■
Внутренняя норма доходности (ВНД, ВНР) IRR	%	■
Срок окупаемости (простой) PP	годы	■
Срок окупаемости (дисконтированный) DPP	годы	■
Индекс доходности капитальных вложений PI	доли ед.	■

По результатам расчетов и можно определить, что срок окупаемости

■  
■

По результатам экономической оценки было выявлено расчетным путем, что предлагаемый проект является рентабельным.



## 5 Социальная ответственность

В данном разделе рассматриваются опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть при проведении мероприятий по увеличению эффективности эксплуатации и технического обслуживания компрессорных станций, а также мероприятия с помощью, которых возможно устранить эти факторы. В разделе рассмотрены вопросы, касающиеся производственной безопасности, экологической, безопасности при возникновении чрезвычайных ситуациях, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

При выполнении любых работ в производственных помещениях, внутри аппаратов, сосудов и на других коммуникациях КС от персонала требуется строгое соблюдение правил техники безопасности и организация безопасных условий труда.

### 5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

#### 5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.

По степени опасности или вредности условия труда делятся на следующие четыре класса: оптимальные, допустимые, вредные, опасные условия труда.

Условия труда при работе в компрессорном цехе являются допустимыми. Условиями труда, которые являются допустимыми (2 класс) являются те условия, при которых происходит воздействие на рабочего вредного или опасного производственного фактора, уровни воздействия, которых не превышают уровни, установленные в нормативных документах, а измененное функциональное состояние организма человека может восстанавливаться во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня или смены.

					«Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования газоконпрессорной станции в условиях низких температур.»			
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата				
Разраб		Никифоров Н.В.			Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Пров		Никulichиков В.К.					73	108
Рук. ОПП		Шадрина А.В.				ОНД гр. 2БМ11		

В соответствии с законодательством на работах с вредными или опасными условиями труда, а также на работах, связанных с загрязнением, работодатель обязан бесплатно обеспечить выдачу сертифицированных СИЗ согласно действующим типовым отраслевым нормам бесплатной выдачи работникам спецодежды, обуви и других СИЗ [2]. Рабочие, занятые на работах с вредными и опасными условиями труда, должны проходить медицинский осмотр в сроки, установлен Минздравом РФ

Все лица, находящиеся на рабочей смене, обязаны носить защитные каски. Работники без защитных касок и других необходимых СИЗ к выполнению работ не допускаются.

Работодатель должен обеспечить работников санитарно-бытовыми помещениями (гардеробными, сушилками для одежды и обуви, душевыми, помещениями для приема пищи, отдыха и обогрева) согласно соответствующим строительным нормам и правилам, и коллективному договору или тарифному соглашению.

В решениях по организации труда излагаются: форма организации труда (вахтовый, экспедиционно-вахтовый, бригадный и т.д.), графики работы, режимы труда и отдыха, составы бригад. При описании режима труда указываются: продолжительность вахты, продолжительность смены, количество смен, часы начала и окончания смены, внутрисменные перерывы на отдых, перерывы на прием пищи.

Запрещается применение труда лиц моложе 18 лет на тяжелых работах и на работах с вредными или опасными условиями труда [5].

Все работники подлежат обязательному государственному социальному страхованию. Работники, а в соответствующих случаях и члены их семей обеспечиваются за счет средств государственного социального страхования: пособиями по временной нетрудоспособности; пособиями по беременности и родам и единовременными пособиями за постановку на учет в медицинских учреждениях в ранние сроки беременности; пособиями

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		74

при рождении ребенка; пособиями при усыновлении ребенка; пособиями по уходу за ребенком до достижения им возраста полутора лет. [6]

### 5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочая зона, ее оснащенность и ее оборудование, которые применяются в соответствии с характером выполняемой работы, должны обязательно обеспечивать безопасность рабочего, сохранение его здоровья и поддержание работоспособности всего персонала организации.

Производственные территории, участки работ и рабочие места должны быть обеспечены необходимыми средствами коллективной и индивидуальной защиты работающих, первичными средствами пожаротушения, а также средствами связи, сигнализации и другими техническими средствами обеспечения безопасных условий труда.

В санитарно-бытовых помещениях должна быть аптечка с медикаментами, носилки, фиксирующие шины и другие средства оказания пострадавшим первой медицинской помощи.

К монтажным работам системы электрообогрева технологических оборудований можно приступать только в том случае, если:

1. Все источники энергии изолированы, стравлены или разряжены;
2. Обеспечена соответствующая блокировка оборудования/механизмов с предупредительными табличками в точках отключения;
3. Проведена проверка (тест) надежности отключения.

Запрещается отключать блокировку и системы противопожарной защиты, снимать предупреждающие знаки, подключать оборудование к источникам энергии до полного завершения всех работ на оборудовании.

У места производства работ систематически, но не реже, чем через 30 мин, необходимо производить анализ воздуха с записью в специальном журнале. При содержании газа более 1%, работы прекращаются и принимаются меры по предотвращению проникновения газа.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		75

Проведение инструктажа по технике безопасности и обучение безопасным приемам и методам работы проводит инженер по охране труда (при наличии данной должности) или лицо, исполняющее его обязанности.

## 5.2 Производственная безопасность

В соответствии с ГОСТ 12.0.003–2015 факторы производственной среды делят на опасные и вредные.

Рассмотрим возможные опасные и вредные факторы в таблице 9.

Таблица 9 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы			Нормативные документы
	Эксплуатация	Диагностика	Ремонт	
1. Превышение уровня шума	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [40]
2. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [41]
3. Превышение уровня вибрации	+	+	+	ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования [36]
4. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [37]
5. Движущиеся машины и механизмы	+	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация [42]
6. Повышенное значение напряжения	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ
7. Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением	+	+	+	ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ
8. Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны			+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ

### 5.2.1 Анализ вредных производственных факторов

Вредными для организма человека являются повышенная температура, вибрация оборудования и шумы в компрессорных цехах.

Таблица 10 – Санитарно-гигиенические условия в производственных помещениях

Параметры	Компрессорный цех	Диспетчерская
Метеорологические условия, категория работ, t, °С	■	■
Относительная влажность, %	■	■
Скорость движения воздуха, м/с	■	■
Вентиляция	■	■
Воздушный бал	■	■
Естественное освещение	■	■
Коэффициент естественного освещения, %	■	■
Искусственное освещение	■	■
Освещенность, лк	■	■
Происхождение шума	■	■
Уровень шума, ДБА	■	■
Происхождение вибрации	■	■

Персонал должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты (СИЗ) в соответствии с типовыми отраслевыми нормами и характером выполняемой работы.

### *Превышение уровней шума.*

В тех случаях, когда уровни шума превышают стандарты по охране здоровья, возникают серьезные проблемы для обслуживающего персонала.

Основным путем борьбы с влиянием шума является применение современных ГПА с эффективной звукоизоляцией, модернизация существующих агрегатов с целью снижения шума, а также строительство звукоотражающих экранов, лесопосадки и т.д.

Производственный шум при работе технологического оборудования на компрессорной станции имеет место повышенный уровень на рабочих местах. Иногда уровень шума достигает 105 дБа и выше, а допустимый уровень шума 85 дБа. поэтому необходимо применять противошумные наушники, которые снижают уровень шума до безопасных пределов. А зоны с уровнем шума, превышающие нормативные, должны быть обозначены предписывающими знаками безопасности. Этот знак означает необходимость работы с применением средств защиты органов слуха, и он вывешивается при входе в рабочее помещение или на участие работ с повышенным уровнем шума.

### *Недостаточная освещенность рабочей зоны*

Для освещения зданий используются искусственные и естественные источники света.

Естественное освещение на главном щите управления создается природными источниками света через оконные проемы, обеспечивающие достаточную освещенность в помещении в светлое время суток. Искусственное освещение осуществляется в помещениях лампами накаливания и люминесцентными лампами. Напряжение питания рабочего освещения во всех основных производственных помещениях осуществляется от двух независимых источников питания, на одном из которых постоянно

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		78

будет напряжение. Кроме того, в помещениях предусмотрено аварийное освещение от аккумуляторной батареи [8].

#### *Превышение уровня вибрации*

Источниками вибраций являются машины и аппараты, в которых движутся неуравновешенные массы. Они характерны для машин роторного типа (турбины, электродвигатели, ручной механизированный инструмент), для механизмов с возвратно-поступательным движением (вибромолоты). Вибрация возникает при соударении деталей в зубчатых зацеплениях, подшипниковых узлах, соединительных муфтах. Источником вибрации, является и движущийся транспорт.

Действие вибраций на человека определяется угнетением центральной нервной системы, вызывая чувство тревоги и страха. Происходят изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Это проявляется в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6-9 Гц [1].

Коллективная виброзащита включает в себя простые и составные средства виброизоляции и виброгашения: установку вибрирующего оборудования на массивный фундамент, применение демпфирующего покрытия и виброизоляторов. СИЗ считаются специальные платформы, сидения, перчатки, рукоятки и некоторые виды обуви, позволяющие минимизировать воздействие вибрации.

#### *Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе*

Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе возможно при неблагоприятных погодных условиях (слишком низкая/высокая температура воздуха, дождь, снег, сильный ветер и т.п.).

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

Постоянное отклонение метеоусловий на рабочем месте от нормальных параметров приводит к перегреву или переохлаждению человеческого организма и связанным с ними негативным последствиям:

– при перегреве – к обильному потоотделению, учащению пульса и дыхания, резкой слабости, головокружению, появлению судорог, а в тяжелых случаях

– возникновению теплового удара; – при переохлаждении возникают простудные заболевания, хронические воспаления суставов, мышц и др.

Работающие на открытой территории в зимний период года должны быть обеспечены СИЗ, а именно специальной теплой одеждой, обувью, средствами защиты рук, средствами защиты головы, лица и глаз [7].

Работа должна быть организована таким образом, чтобы рабочие имели возможность периодически находиться в теплом помещении. Работающие на открытой территории в летний период года должны иметь свободный доступ к устройствам питьевого водоснабжения.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 [8] при определенной температуре воздуха и скорости ветра работы приостанавливаются (таблица 11).

Скорость ветра, м/с	Температура воздуха °С
При безветренной погоде:	
Не более 5,0	
5,1–10,0	
10,1–15	
15,1–20,0	
Более 20,0	



## 5.2.2 Анализ опасных производственных факторов

*Утечки токсичных и вредных веществ в рабочую зону*

Перекачиваемый газ, ██████████, в таблице 12 приведены его токсичные и пожароопасные свойства.

Таблица 12 – Токсичные и пожароопасные свойства газа

Основные параметры газа	Значение
Температура воспламенения, °С	████
ПДК, мг/м <sup>3</sup>	████
Пределы воспламенения смеси с воздухом, %	████
Санитарная норма, %.	████
Токсическое действие	████████████████████ ████████████████████

Основные свойства газа:

- при содержании метана в воздухе в ██████████ образуется взрывоопасная концентрация;
- природный газ, скопляющийся в закрытом помещении, вытесняет воздух и удушающее действует на человека;
- предельно допустимое содержание газа в помещениях не должно превышать 1%.

*Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования.*

Скорость движения автотранспорта, по строительной площадке и вблизи мест производства работ не должны превышать 10 км/час на прямых участках и 5 км/час на поворотах.

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное

управление), предотвращающие травмирование рабочего персонала.

Также необходимо соблюдать технику безопасности при работе оборудования, машин и механизмов, а их эксплуатацию должны выполнять только лица, имеющие на это право.

### 5.3 Экологическая безопасность

#### 5.3.1 Воздействие на окружающую среду

*Воздействие на атмосферу.*

Выбросы вредных веществ на компрессорных станциях (КС) можно разделить на две основные группы:

- выбросы (эмиссия) природного газа;
- выбросы продуктов сгорания (выхлопных газов).

Распределение общей величины выбросов природного газа при его транспорте можно представить в виде следующих соотношений, представленных в таблице 13.

Таблица 13 – Величины выбросов природного газа

Соотношения	Показатели, %
Общая величина выбросов природного газа на КС	■
При пусках и остановах ГПА	■
Утечки (фугитивные выбросы):	■
– уплотнения запорной арматуры по штоку	■
– фланцевые и резьбовые соединения	■
– предохранительные клапаны	■
– уплотнения затвора свечной запорной арматуры	■
– уплотнения компрессоров	■
– другое технологическое оборудование	■
Ремонтные работы, аварийные ситуации и др.	■

Для снижения эмиссии метана в атмосферу проводят различные мероприятия:

- разработка новых технологий работы оборудования;
- использование сжатого воздуха для запуска ГПА или электрозапуска;
- применение безпродувочных технологий;
- поддержание запорной арматуры в герметичном состоянии;
- соблюдение технологической дисциплины;
- другие конструкторско-технологические решения.

#### *Воздействие на гидросферу*

Негативным воздействием на гидросферу считается загрязнение сточными водами и мусором.

#### Природоохранные мероприятия:

1. Соблюдение согласованных мест расположения и границ площадок, расположенных от водоемов и водотоков на нормируемом расстоянии с целью исключения попадания загрязнений в поверхностные воды.

2. Емкости с отработанными ГСМ должны временно храниться на специально отведенной площадке на металлических поддонах, с оборудованным герметичным бордюром, который позволит предотвратить разлив хранящегося количества отходов ГСМ за пределы площадки.

3. Обслуживание, ремонт, заправка техники осуществляется на специально оборудованных площадках.

В случае возникновения нештатной ситуации, связанной с проливом ГСМ, места проливов зачищаются немедленно с помощью песка. Образующийся отход должен храниться в отдельном контейнере.

#### *Воздействие на литосферу.*

Негативное воздействие на литосферу - засорение почвы производственными отходами. Природоохранные мероприятия:

1. Приказом по предприятию назначается лицо, ответственное за сбор, временное хранение и организацию своевременного вывоза отходов,

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

образующихся в результате проведения работ.

2. На участке должен проводиться постоянный контроль за состоянием рабочих емкостей и контейнеров с отходами.

3. Места временного хранения и накопления отходов должны соответствовать требованиям техники безопасности, санитарно-гигиеническим нормам и вышеперечисленным инструкциям. Места сбора и накопления отходов должны быть оборудованы углекислотными огнетушителями, ящиками с песком, лопатой, войлоком, кошмой или асбестом [39].

### 5.3.2 Расчет удельных выбросов стравливаемого газа при остановке ГПА

Мощность выброса природного газа  $M_0$ , кг/с, вычисляют по формуле:

$$M_0 = \frac{Q_0 \cdot \rho_{20}}{t} \quad (9)$$

где,  $Q_0$  – объём природного газа, выбрасываемого при одной операции остановки ГПА; определяют в зависимости от геометрического объёма источника выделения, коэффициента сжимаемости газа, среднеарифметических значений давления и температуры газа, м<sup>3</sup>;

$\rho_{20}$  – плотность природного газа при стандартных условиях (20°С и 0,1013 МПа), кг/м<sup>3</sup>;

$t$  – время стравливания,  $t = 239$  сек (0,066ч).

Мощность выброса природного газа, кг/с:



(9)

Удельные показатели выбросов стравливаемого природного газа при остановке газоперекачивающих агрегатов определяют по мощности выброса как следующие величины удельных выбросов:

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

– на единицу топливного газа (индекс выброса)  $m_0^{ТГ}$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляют по формуле:

$$m_0^{ТГ} = \frac{3600 \cdot M_0}{q_{ТГ}} \quad (10)$$

где,  $q_{ТГ}$  – объёмный расход топливного газа, м<sup>3</sup> /ч (при 20°С и 0,1013 МПа);

– на единицу работы  $m_0^N$ , г/кВт·ч, вычисляют по формуле:

$$m_0^N = \frac{3,6 \cdot M_0}{N_e} \quad (11)$$

где,  $N_e$  – мощность газотурбинного привода, кВт.

Удельные показатели выбросов сравливаемого природного газа при остановке ГПА по мощности выброса на единицу топливного газа (индекс выброса), кг/м<sup>3</sup>

$$\text{[Redacted]} \quad (10)$$

Удельные показатели выбросов сравливаемого природного газа при остановке ГПА по мощности выброса на единицу работы, кг/кВт·ч:

$$\text{[Redacted]} \quad (11)$$

Удельные показатели выбросов сравливаемого природного газа при остановке газоперекачивающих агрегатов определяют по объёму сравливания на единицу условной номинальной работы как следующие величины удельных выбросов:

– объём выброса природного газа на единицу работы  $q_0^{N'}$ , м<sup>3</sup> /кВт·ч, вычисляют по формуле:

$$q_0^{N'} = \frac{Q_0}{N_e \cdot \tau} \quad (12)$$

где,  $\tau$  – календарное время стравливания, ч;

– массовый выброс природного газа на единицу работы  $m_0^{N'}$ , кг/кВт·ч, вычисляются по формуле:

$$m_0^{N'} = \frac{Q_0 \cdot \rho_{20}}{N_e \cdot \tau} \quad (13)$$

Удельные показатели выбросов стравливаемого природного газа при остановке ГПА по объёму стравливания на единицу работы, м<sup>3</sup>/кВт·ч:

$$\text{[Redacted]} \quad (12)$$

Удельные показатели выбросов стравливаемого природного газа при остановке ГПА по массовому выбросу природного газа на единицу работы, кг/кВт·ч:

$$\text{[Redacted]} \quad (13)$$

Массовый выброс стравливаемого природного газа при остановке газоперекачивающих агрегатов  $G_0$ , т/год, определяют по формулам:

$$\text{[Redacted]} \quad (14)$$

$$G_0 = \frac{Q_0 \cdot \rho \cdot n}{1000} \quad (15)$$

где,  $n$  – количество технологических операций в год;

0,036 – коэффициент пересчёта.

Массовый выброс стравливаемого природного газа при остановке газоперекачивающих агрегатов, т/год:

$$\text{[Redacted]}$$

Валовый выброс стравливаемого природного газа при остановке газоперекачивающих агрегатов за отчётный или планируемый период эксплуатации  $G'_0$ , т/период, определяют с учётом удельных выбросов по

основному технологическому показателю (расход топливного газа) по формуле:

$$G_0 = \frac{Q_0 \cdot \rho \cdot n}{1000}$$

где,  $q'_{\text{ТГ}}$  – объёмный расход топливного газа за отчётный или планируемый период эксплуатации агрегата, м<sup>3</sup>/период

#### 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – внешне неожиданная, внезапно возникающая обстановка, которая характеризуется резким изменением установившегося процесса, оказывающая значительное отрицательное влияние на жизнедеятельность людей и окружающую среду.

*Анализ возможных ЧС.*

Чрезвычайные ситуации могут возникнуть в процессе ремонтных работ на КС:

- экологическое загрязнение окружающей среды (утечки газа);
- возгорание ГСМ;
- попадание молнии в оборудование КС;
- техногенные причины (аварии);
- пожар на объекте.

Аварии на КС могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций. Основными причинами возникновения аварий являются: коррозионные разрушения, перепады температур, неверное техническое обслуживание, отказ приборов контроля и сигнализации, факторы внешнего воздействия (молнии, ураганы и прочее).

Для предупреждения попадания молний в оборудование КС необходимо устанавливать молниеотводы, корпус оборудования КС должен

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

быть заземлён. По периметру необходимо устанавливать заземлители через каждые 50 м. Также заземляют все коммуникации, находящиеся на объекте.

Для предотвращения возгорания ГСМ следует хранить в изолированных помещениях для хранения топлива. Место заправки от места выполнения огневых работ и открытых источников огня должно быть расположено не ближе 20 м.

#### *Наиболее вероятная ЧС*

Наиболее характерной ЧС является пожар на компрессорной станции.

Пожары на газотранспортных объектах развиваются по следующей схеме: авария, утечка газа, образование облака взрывоопасной смеси, воспламенение ее от источника зажигания, горение газа, нагревание и разрушение технологического оборудования под воздействием пламени.

При авариях в помещениях взрывоопасные концентрации газа возникают в первую очередь вблизи места утечки газа, а затем распространяются по всему помещению. На открытых площадках вблизи места утечки образуется зона загазованности, распространяющаяся по территории объекта. Величина ее при аварийном истечении газа зависит от многих факторов, главные из которых – расход газа, форма и направление его струи, метеорологические условия, рельеф местности. Наибольшее влияние на величину зоны загазованности оказывает ветер.

#### *Разработка мер по предупреждению ЧС.*

Для того чтобы предотвратить ЧС, связанных с возникновением взрывов или пожаров необходимо применять следующие меры безопасности:

- необходимо переносным газоанализатором проверить уровень загазованности воздушной среды, важно, чтобы содержание газов не превышало ПДК по санитарным нормам;
- проведение работ разрешается в том случае, когда устранены после

						Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			88



устранения опасные условия, в ходе работ необходимо периодически осуществлять контроль загазованность воздушной среды;

На КС должны иметься схемы пожарного водопровода с указанием мест установки пожарных гидрантов и кранов.

Таблица 14 – Категории взрыва и пожароопасности основных зданий и помещений КС

Здания и сооружения	Категория пожароопасности (НПБ 105-2003)	Класс взрываемости (ПУЭ)
отсек двигателей электропривода	■	■
отсек центробежных нагнетателей	■	■
помещения хранения, регенерации и раздачи смазочных масел	■	■
аккумуляторная	■	■
котельная на газовом топливе	■	■
химическая лаборатория	■	■

#### *План действий в случае ЧС*

Рабочий в случае обнаружения очага возгорания или возможных признаков самого горения, а именно: задымленность, запах гари, повышение температуры должен:

- мгновенно сообщить о данном происшествии в службу пожарной охраны, рабочий должен назвать наименование объекта, место пожара или взрыва, а также свою фамилию;
- необходимо принять меры по эвакуации людей, тушению пожара и сохранению материальных ценностей.

В данном разделе были рассмотрены и проанализированы воздействия предложенных мероприятий с точки зрения экологической, производственной опасности. Были описаны методы по предотвращению чрезвычайных ситуаций. А также были рассмотрены вопросы обеспечения безопасности во время работы на компрессорной станции.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен анализ существующих видов обогрева используемых в нефтегазовой промышленности, изучены особенности района исследования, выполнен теплотехнический расчет в программном комплексе Ansys, проведен расчет экономической эффективности проекта, а также рассмотрены и проанализированы воздействия предложенных мероприятий с точки зрения экологической, производственной опасности.

После изучения видов обогрева, используемых в нефтегазовой промышленности, был выбран наиболее оптимальный вид обогрева, а именно [REDACTED]

Проведен теплотехнический расчет стационарного температурного поля корпуса шарового крана после которого было выявлено температура равная [REDACTED]

Выполнен расчет экономической эффективности проекта. По результатам расчетов можно определить, что срок окупаемости проекта [REDACTED]

[REDACTED] По результатам экономической оценки было выявлено расчетным путем, что предлагаемый проект является рентабельным.

					Заключение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

## Список использованной литературы

1. Ефимов, В. М. Влияние теплоизоляции магистрального газопровода на температурный режим многолетнемерзлых грунтов основания [Текст] / В. М. Ефимов, И. И. Рожин, Ф. Е. Попенко, А. В. Степанов // Теплофизика и энергетика арктических и субарктических территорий: расш. тез. докладов. Якутск, 2019. – 302–306 с.
2. Струпинский М.Л. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли / М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков. – М.: Инфра-Инженерия, 2015. – 272 с.
3. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование: Справочник: Учебное пособие для вузов / И.И. Алиев. – М.: Высш. шк., 2014. – 1199 с.
4. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики: учебник / Г.Ф. Быстрицкий. – 3-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2013. – 352 с.
5. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника / Г.Н. Алексеев – М.: Высшая школа, 2014 – 552 с.
6. Немцев З.Ф. Теплоэнергетические установки и теплоснабжение / З.Ф. Немцев – М.: Энергоиздат, 2014. – 284 с.
7. Чечет Ю.С. Электрические микромашины автоматических устройств / Ю.С. Чечет. – М.: Энергия, 2013. – 125 с.
8. Салов В.П. Справочник по ремонту, наладке и техническому обслуживанию электрооборудования / В.П. Салов – Л.: Вента-2, 2016. – 187 с.
9. Борисов Ю.М. Электротехника: учебник. 3-е изд. / Ю.М. Борисов. – СПб.: ВНУ, 2014. – 592 с.
10. Новожилов О.П. Электротехника и электроника: Учебник для бакалавров / О.П. Новожилов. – М.: Юрайт, 2013. – 192 с.
11. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: Академия, 2015. – 304 с.

					Список использованной литературы	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

12. Рожкова Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 320 с.
13. Мохов А.В. Многоточечные системы контроля и автоматизации (МКСиА) систем электрообогрева ТЕПЛОМАГ / А.В. Мохов – М.: Промышленный электрообогрев и электроотопление, 2015. – 253 с.
14. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеев. – М.: Энергия, 2013. – 320 с.
15. Кувалдин, А.Б. Индукционный нагрев магнитной стали на промышленной частоте / А.Б. Кувалдин. – М.: ВИНТИ, 2014. – 82 с.
16. Струпинский М.Л. Индукционно-резистивная система обогрева трубопровода / М.Л. Струпинский, А.Б. Кувалдин. – М.: Электрика, 2013. – 125 с.
17. Кузьмин А.Е. Техническое обслуживание систем электрообогрева трубопроводов и резервуаров / А.Е. Кузьмин, А.Ф. Тулубаев – М.: Промышленный электрообогрев и электроотопление, 2014. – 76 с.
18. Вагин Г.Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов – М.: Академия, 2013. – 224 с.
19. Сибикин Ю.Д. Технология электромонтажных работ / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин – М.: Высшая школа, 2014. – 353 с.
20. Холодный С.Д. Технологическая термообработка изоляции кабелей и проводов / С.Д. Холодный – М.: Изд-во МЭИ, 2015. – 160 с.
21. Коршак А.А. Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа / А.А. Коршак, А.М. Нечваль – М.: Стройинформ, 2014. – 440 с.
22. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И. М. Михеева – М.: Энергия, 2016. – 320 с.
23. Руденко В.В. Тепловая изоляция в промышленности и строительстве / В.В. Руденко, А.С. Панин – М.: БСТ, 2014. – 160 с.
24. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях / Е.Ф. Щербаков, А.Л. Дубов – М.: Форум, 2015. – 496 с.

					<i>Список использованной литературы</i>	<i>Лист</i>
						92
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

25. Меркулов М.В. Теплотехника и теплоснабжение геологоразведочных работ / М.В. Меркулов – М.: ИнФолио, 2014. – 273 с.
26. Кисаримов Р.А. Ремонт электрооборудования / Р.А. Кисаримов – М.: РадиоСофт, 2014. – 543 с.
27. Карякин Р.Н. Справочник по молниезащите / Р.Н. Карякин – М.: Энергосервис, 2014. – 770 с.
28. Газокомпрессорная станция СБ НГКМ. ГКС для поддержания пластового давления Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ. Технологический регламент эксплуатации Газокомпрессорной станции 2514П-Э-001.003.000-ТРЭ-01-ПЗ-001. АО Гипрвостокнефть. – 244с.
29. Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 №1 (ред. от 18.11.2022) «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы».
30. Закон об основах охраны труда в РФ №181-ФЗ от 17.07.1999 г (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 26 декабря 2005 г.)
31. Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов 116-ФЗ от 21.07.1997 г. с изменениями от 7.08.2000 г
32. Трудовой кодекс №197-ФЗ (с изменениями и дополнениями, вступившими в силу с 13.04.2014 г.)
33. ПБ 08-624-03 «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»
34. ГОСТ 12.0001-82 ССБТ «Система стандартов безопасности труда»
35. СНиП .21/2.11.567-96 «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий» от 31.10.1996 г
36. Закон о пожарной безопасности №69-ФЗ, принят 21.12.1994 г (с дополнениями и изменениями от 22.08.1995 г, от 18.04.1996г, от 24.01.1998 г, от 27.12.2000 г.)
37. ПБ 08-624-03 «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»

					<i>Список использованной литературы</i>	<i>Лист</i>
						93
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- 38.СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций»
- 39.ГОСТ ИЕС 60079-30-2-2011 Взрывоопасные среды. Электронагреватель резистивный распределенный.
- 40.СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.
- 41.СП 11–105.97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.
- 42.СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства.
- 43.СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.
- 44.МР 2.2.7.2129-06 «Режимы труда и отдыха, работающих в холодное время на открытой территории или в не отапливаемых помещениях»
- 45.ГОСТ 12.0.003–2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 46.ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 47.ГОСТ 12.0.002–2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
- 48.ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

					<i>Список использованной литературы</i>	<i>Лист</i>
						94
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## Приложение I (справочное)

### Development of recommendations for improving the reliability of shut-off and control valves of process equipment in low-temperature conditions.

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ11	Никифоров Николай Васильевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Никульчиков Виктор Кенсоринович		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Айкина Татьяна Юрьевна		

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Разработка рекомендаций по повышению надежности запорно-регулирующей арматуры технологического оборудования в условиях низких температур.											
					<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Приложение I</p> </div> <div style="text-align: right;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Литера</td> <td style="width: 10%;">Лист</td> <td style="width: 10%;">Листов</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">у</td> <td style="text-align: center;">95</td> <td style="text-align: center;">108</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; padding: 5px;">ОНД группа 2БМ11</td> </tr> </table> </div> </div>			Литера	Лист	Листов	у	95	108	ОНД группа 2БМ11		
Литера	Лист	Листов														
у	95	108														
ОНД группа 2БМ11																
Разраб.		Никифоров Н.В.														
Пров		Никульчиков В.К.														
Консульт.		Айкина Т.Ю.														
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.														
Утв.																

## Introduction

Modern compressor stations consist of a complex system of process equipment, platforms, and various installations interconnected by a network of process pipelines.

Gas compressor stations play a crucial role in the oil and gas industry by facilitating the gas transfer through pipelines and its further transportation. The reliable operation of shut-off and control valves is critically important for the safe and efficient functioning of gas compressor stations. However, during the operation of such equipment in low-temperature conditions, operating organizations face challenges related to freezing and failures of shut-off and control valves.

The optimization of gas compressor station operations is highly important for ensuring increased reliability and safety of production, especially in extreme temperature regimes. To enhance the reliability and durability of shut-off and control valves, it is necessary to develop recommendations for their optimization and operation.

This master's thesis explores methods for improving the reliability of shut-off and control valves of process equipment in gas compressor stations under low-temperature conditions by implementing electric heating systems. The outcomes of this research will provide practical recommendations for selecting optimal equipment parameters and operating guidelines in low-temperature conditions.

					<i>Приложение I</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		96



## 2.1 Research Object

### 2.1.1 General Information

The research object of the final qualification work is a DN 700 shut-off valve with a hydro-pneumatic actuator of a gas pumping unit.

Location: Gas pumping unit (GPU) GPA-25A-PS/GT.C, high-pressure gas compressor station, Srednebotuobinskoye oil and gas condensate field, Mirny district, Republic of Sakha (Yakutia).

#### GPU Description:

The gas pumping unit is an indoor-type GPA-25A-PS/GT.C (hereinafter referred to as GPU) with a gas turbine drive PS-90GP-25 (hereinafter referred to as GTD) with a nominal power of 25 MW. It is designed for compressing and injecting associated petroleum gas into the reservoir to maintain reservoir pressure. The operating mode is continuous, 24/7. The calculated operating time is assumed to be 8,400 hours per year. The maximum gas inlet at the station is 3.66 billion cubic meters per year. The maximum gas injection capacity of the compressor station is 3.5 billion cubic meters per year. The pressure at the station's outlet (at the connection point to the high-pressure gas pipeline) is approximately 21 MPa (gauge).

The designation of the gas pumping unit GPA-25A-PS/GT.C is as follows:

- GPA: Gas Pumping Unit
- 25: Drive power of 25 MW
- A: Variant with lightweight panel-type hangar enclosure
- PS: Drive type PS-90GP-25
- GT: Manufactured by JSC "ODK-GT"
- C: Centrifugal compressor with dry seals and an oil lubrication system

The gas pumping unit (GPU) belongs to industrial and technical products.

The GPU is designed for operation in moderately cold climates within a temperature range of -60°C to +40°C ambient air temperature.

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		97

Climatic performance: UHL according to GOST 15150. Placement category IV for equipment installed inside the enclosure; placement category I for equipment and its components installed outside the enclosure.

### 2.1.2 Physico-geographical characteristics of the work area

According to the administrative-territorial division, the Srednebotuobinsk oil and gas condensate field is located in the Mirninsky District of the Republic of Sakha (Yakutia). The Srednebotuobinsk oil and gas condensate field is situated 130 km southwest of Mirny and 140 km northwest of Lensk.

The only populated settlement in the field area is the village of Taas-Yuryakh, with a population of about 500 people.

### 2.1.3 Hydrography

All watercourses in the studied region belong to the Lena River basin, specifically the sub-basin of the Viluy River. The site for the construction of the warehouse complex is located on the watershed between the Khampa-Yuryakh Creek and the Usumuun Creek (Uspun River), which are left tributaries of the Təlgəspit River. There are no permanent or temporary watercourses directly within the site area.

In general, the density of the river network in the surveyed area averages 0.3 km/km<sup>2</sup>. The structure of river basins is predominantly asymmetric. Watershed lines are mostly well-defined, except in low-lying areas where they are often indistinct. A characteristic feature of the river network in the surveyed area is its deep incision. However, river valleys, especially on plain sections, are wide, with extensive marshy floodplains that have a network of old riverbeds and small lakes.

The Ulahan-Botuobuya River is a right tributary of the Viluy River, joining it at a distance of 1294 km from the river's mouth. The total length of the watercourse is 459 km, with a drainage area of 17,500 km<sup>2</sup>. The majority of lateral inflows in the Ulahan-Botuobuya River basin are concentrated in its left-bank part.

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		98

The average elevations of the water catchment areas are 370 m, with the highest points ranging from 400 to 425 m.

The lakes within the Ulahan-Botuobuya River basin are located outside the main channel, in non-flowing depressions of river valleys. Lake formation mostly occurs as a result of thawing and subsidence of the ground (thermokarst lakes). Most lakes have small water surface areas, less than 1 km<sup>2</sup>, and dry up during dry years. The total percentage of lakes in the drainage area does not exceed 1%.

The presence of marshes represents poorly drained formations in flat depressions of a valley type, often with a series of small lakes inside. The average marshiness of the Ulahan-Botuobuya River basin is about 10%. The forest cover in the basin is 90%.

Cultivated areas are extremely insignificant and mainly concentrated near settlements. The use of rivers as water sources is challenging since they have low water levels for most of the summer (mainly snow-fed), and during winter, they are mostly frozen.

#### 2.1.4 Climate

The natural and climatic conditions of the study area are characterized by extremely harsh climate indicators. Due to the short vegetation period and minimal sum of active temperatures, the comfortable period for living here is less than two months.

According to the climate zoning for construction, the studied area is located in zone ID, belonging to the zone with the most severe conditions according to the northern construction-climatic zone division, and it belongs to the dry zone in terms of humidity. The geographical location of the territory determines its climatic peculiarities. This territory is hardly influenced by Atlantic and Pacific air masses, making arctic air circulation the climate-forming factor.

The climate of the region is sharply continental, characterized by a long and harsh winter (from October to April) and a short summer period. The main factors determining such climate characteristics are the nature of air circulation and the

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		99

physico-geographical conditions of the territory, its remoteness and isolation from the Atlantic and Pacific Oceans, and its openness to the Arctic Ocean. In the winter period, the territory is affected by a powerful Asian anticyclone. It leads to the formation of continental, very cold air, clear and dry weather, which contributes to significant cooling of the Earth's surface and the lower layers of the atmosphere. Particularly strong cooling occurs in river valleys and basins, where cold air accumulates, resulting in extremely low winter temperatures.

The climate characteristics of the study area are presented based on long-term observations at the nearest weather station, Dorozhny (elevation 352 m), which was established in 1944 and is located 83 km northeast of the survey site.

**Air temperature:** The long-term average annual air temperature is negative (-6.3 °C). The absolute minimum air temperature was recorded in December at -59.6 °C. The annual temperature amplitude is 46.2 °C. The transitional seasons are short and characterized by large daily temperature fluctuations.

**Wind:** Southwesterly air currents prevail over the study area for most of the year. The seasonal changes in pressure fields determine the wind regime of the territory, but its complex orographic conditions bring significant variations.

The average annual wind speed at the Dorozhny meteorological station is 2.0 m/s. The maximum wind speed is observed in April-May, reaching 2.2 m/s, while the minimum occurs in August at 1.6 m/s. The maximum wind speed that can occur once in 10 years is 21 m/s, and once in 20 years is 23 m/s. The wind speed with a 5% probability of exceeding it is 5 m/s.

**Precipitation:** The annual amount of precipitation is small, varying between 300-400 mm in different years and unevenly distributed throughout the seasons. The average annual precipitation at the Dorozhny meteorological station is 352 mm. In the summer-autumn period (April-October), about 75% of the annual precipitation falls. The number of days with liquid precipitation is 71. The minimum monthly precipitation occurs in February-March (12 mm). The average number of days with solid precipitation is 148. The highest number of days with

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		100

solid precipitation occurs in June-August (55-50 mm). The maximum daily precipitation with 1% probability is 58 mm.

Snow cover: The snow cover appears in the first decade of October and fully forms by the end of the month. The average height of the snow cover is 46 cm, with the highest average height recorded at 63 cm during a regular period. In open areas, snow is often blown away, resulting in 5-15 cm higher snow depth on wind-protected sites compared to open areas.

### 2.1.5 Relief and Geomorphology

The main imprint on the relief is attributed to the semi-covering nature of the Middle Quaternary glaciation.

Morphologically, the relief is characterized by undulating plateaus on linear-folded Jurassic carbonate-clayey rocks. These plateaus developed on major synclinal structures with gently or horizontally lying clayey-carbonate rocks that are susceptible to erosion and denudation processes.

Based on the predominance of relief-forming exogenous factors, the studied area falls within the erosion-denudation type of relief, formed as a result of selective denudation processes during neotectonic uplifts of the territory.

The relief is weakly dissected, gently undulating, with wide interfluves, broad terraced river valleys, and depressions incised to depths of 100-600 m. The most characteristic type of relief is hilly and hilly-ridge surfaces, widely distributed in the lower parts of valley slopes.

A notable feature of the region is the alasic relief with numerous rounded thermokarst depressions partially filled with water.

### 2.1.6 Hydrogeological Conditions

The development of permafrost-affected grounds (PAG) significantly influences the hydrogeological conditions of the area.

Regarding the interaction of the planned objects with the geological environment that may impact their construction and operation, particular attention

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		101

is given to the subpermafrost waters, represented by the waters of the seasonal-thaw layer and the subsoil taliks.

Groundwaters are divided into temporary waters of the seasonal-thaw layer and permanently existing waters of the subsoil taliks.

Seasonal-thaw layer waters form during the thawing of the upper part of rocks in the summer and autumn. Their main recharge occurs through atmospheric precipitation. Their movement follows the surface slope, from the more elevated and dissected areas towards the lower ones. On flat surfaces, the movement is either greatly reduced or absent entirely. The depth of the water table corresponds to the depth of the established groundwater level, and the waters are non-artesian. The water-bearing soils are loams and sands, while the impermeable layer consists of permafrost soils.

Subsoil talik waters are mainly associated with river valleys. These waters are primarily replenished by the infiltration of atmospheric precipitation and partially by river waters. Subsoil talik waters flow along the river valley and have a year-round discharge. Additionally, they can receive recharge and discharge from deep-seated waters in some areas. The water-bearing formations consist of sandy and sandy-silty deposits of varying thickness. The lower aquiclude is formed by the depth of the perennially frozen ground.

### 2.1.7 Cryological Conditions

The survey area is characterized by the distribution of seasonal-thaw and frozen grounds. The boundary between seasonal-thaw and perennially frozen grounds is conditional because the depth of thawing and freezing can vary depending on weather and anthropogenic conditions.

In terms of permafrost conditions, the surveyed area is located in the zone of continuous permafrost, although locally, areas with discontinuous permafrost (areas with the presence of thawed soils) can be encountered.

The ice content is an indicator of the strength condition of perennially frozen grounds (PFG) since surface settlement occurs during thawing.

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		102

Frozen grounds exhibit various cryogenic textures. Sandy-clayey soils possess a laminar and massive cryostructure, while peat soils exhibit an ataxitic cryostructure.

The cryogenic structure of the soils is largely determined by their lithological composition and moisture content.

### 2.1.8 Geological and Engineering-Geological Processes

Within the surveyed territory, a wide range of cryogenic geological processes is developed, with the most intense processes occurring in the active layer. The most common processes include those associated with the thawing of icy rocks (thermokarst), freezing of moist rocks (seasonal heaving, cryogenic fracturing), and water balance processes (marsh formation and flooding of the area).

The intensity of seasonal heaving is determined by the depth of seasonal thawing, the lithology of the soils, and their moisture content.

In areas with clayey soils and peatlands with high ice content, the formation of various forms and sizes of mounds associated with seasonal heaving of the active layer is possible.

The process of marsh formation, characterized by the development of excessively moist areas covered with specific marsh vegetation, is widespread in the surveyed territory. Lowland swamps located in depressions of the relief are mapped in river floodplains, while upland swamps are found on leveled watersheds.

## 2.2 Research Method

To solve the assigned task, it is necessary to build a CAD model of the research object. Based on the created model and a software package, perform the calculation of the steady-state temperature field of the spherical valve body.

**Ansys** is a universal software system for analysis that is based on the finite element method (FEM). Ansys is widely used in computer-aided design (CAD)

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		103

systems. The finite element method is a numerical method that allows solving partial differential equations. The method is widely used to solve problems in solid mechanics, heat transfer, fluid dynamics, electromagnetics, and topology optimization. The essence of the method lies in dividing the working model into a mesh consisting of a certain number of elements. Then, the stationary temperature field of each finite element is studied precisely or approximately using methods.

Specifically, our task is solved in the **ANSYS Steady State Thermal** module, which is a part of the ANSYS software package. It is designed for conducting heat transfer analysis and calculating thermal fields under steady-state conditions. It is widely used in engineering disciplines where thermal processes and thermal stability of systems are important.

In ANSYS Steady State Thermal, various aspects of heat transfer can be modeled and analyzed, including:

1. Heat loads: The module allows modeling various heat sources such as electrical components, solar radiation, chemical reactions, and other heat sources.
2. Heat conduction: The module calculates the distribution of temperatures and heat fluxes in steady-state conditions, considering material properties, thermal conductivity, and boundary conditions.
3. Heat exchange: ANSYS Steady State Thermal enables the analysis of heat exchange between different components of the system, such as heat exchangers, radiators, convective surfaces, and other elements.
4. Thermal stress: The module also provides the capability to calculate thermal stresses and deformations that may arise due to non-uniform temperature distribution in the system.
5. System optimization: Using ANSYS Steady State Thermal, system optimization can be performed to achieve optimal temperature distribution, minimize heat loads, or improve heat transfer.
6. Visualization of results: The module offers the capability to visualize thermal fields and temperature distributions using various graphical tools.

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		104



ANSYS Steady State Thermal is a powerful tool for conducting heat transfer analysis and thermal design. It helps engineers and designers optimize systems, ensuring safety and operational efficiency under steady-state thermal conditions.

**ANSYS Static Structural** is a module of the ANSYS software suite that is used for conducting structural analysis and solving static strength problems. It is widely used in engineering and design fields to simulate and predict the behavior of structures under various loading conditions.

The module utilizes the finite element method (FEM) to discretize the structure into smaller elements, allowing for the calculation of stresses, strains, displacements, and other structural responses. It can analyze linear and nonlinear structural problems, including static stress analysis, modal analysis, stability analysis, and more.

Key features and capabilities of ANSYS Static Structural include:

**Load Analysis:** The module allows for the application of various types of loads, such as forces, pressures, thermal loads, and constraints, to simulate real-world operating conditions.

**Material Models:** It supports a wide range of material models, including linear elastic, plasticity, hyperelastic, and viscoelastic models, enabling accurate representation of material behavior.

**Contact Analysis:** ANSYS Static Structural can simulate contact interactions between different parts or components of a structure, including bonded, frictional, and sliding contacts.

**Nonlinear Analysis:** It can handle nonlinearities such as large deformations, material nonlinearities, geometric nonlinearities, and contact nonlinearities, providing more realistic and accurate results.

**Stability Analysis:** The module can predict the critical load and mode shapes of structures, allowing engineers to assess their stability and design against failure.

**Modal Analysis:** It can determine the natural frequencies, mode shapes, and damping ratios of structures, providing information about dynamic behavior and potential vibration issues.

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		105

By using ANSYS Static Structural, engineers can optimize designs, evaluate structural integrity, and ensure the safety and performance of various structures, such as buildings, bridges, mechanical components, and aerospace structures.

**The finite element method (FEM)** is a numerical method used for solving various engineering and scientific problems based on differential equations. It is widely used for modeling and analyzing the behavior of complex systems, such as structures, heat transfer, electromagnetism, and others.

The main idea of the finite element method is to divide the analyzed domain into many smaller and simpler subdomains called finite elements. These elements can have different geometric shapes, such as triangles, quadrilaterals, tetrahedra, or hexahedra. Each finite element is described by a set of nodes where computations are performed.

The process of solving using the finite element method involves the following steps:

**Discretization:** The analyzed domain is divided into finite elements. This can be done manually or automatically using specialized software tools.

**Formulation of equations:** Equations describing the behavior of the system, such as mechanics equations, heat conduction equations, or electromagnetics equations, are written for each finite element. This may include equilibrium equations, energy conservation laws, and other relevant physical laws.

**Approximation of the solution:** For each finite element, a mathematical function called an interpolation function is chosen, which approximates the solution inside the element. Polynomial functions, their combinations, or special shape functions are commonly used.

**Assembly of equations:** Using the equations for each finite element and boundary conditions, a system of linear or nonlinear equations representing the entire system is created.

**Solution of the equation system:** The system of equations is solved numerically using linear or nonlinear algebraic methods. The calculation results include the values of the desired variables at the nodes or inside the finite elements.

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		106

By applying the finite element method, engineers and scientists can analyze complex systems and obtain accurate and reliable numerical solutions. It provides a versatile approach for solving a wide range of problems in various fields of engineering and science.

**Boundary conditions** in the finite element method are defined at the boundaries of the analyzed domain and are used to specify values or constraints necessary for solving the problem. Boundary conditions are defined to account for the interaction of the system with the surrounding environment or other objects.

Depending on the type of problem and the physical behavior of the system, different types of boundary conditions can be applied. Here are some common types of boundary conditions:

**Dirichlet conditions:** First-type boundary conditions, also known as Dirichlet conditions, prescribe specific values of the desired variable on the system's boundary. For example, these can be fixed values of temperature, pressure, or displacement at certain sections of the boundary.

**Neumann conditions:** Second-type boundary conditions, known as Neumann conditions, define derivatives or fluxes across the system's boundary. For example, this can involve specifying heat flux or forces acting on the boundary.

**Robin conditions:** Third-type boundary conditions, also known as Robin conditions or mixed conditions, combine values of variables and their derivatives on the boundary. Such conditions may include a combination of prescribed values and derivatives as well as relationships between variables on the boundary.

**Free surface conditions:** In some problems, such as in aerodynamics or hydrodynamics, it may be necessary to define boundary conditions for a free surface where specific values are not assigned, but the interaction of the system with the surrounding environment is constrained.

**Symmetry conditions:** If the system exhibits symmetry, corresponding symmetry properties are specified at the boundary where symmetry conditions are applied. For example, in the case of axial symmetry, the boundary may be

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		107

symmetric with respect to the axis, resulting in conditions that reflect this symmetry.

By applying appropriate boundary conditions, engineers and scientists can model the behavior of systems more accurately and capture the interaction between the system and its surroundings. These conditions play a crucial role in obtaining meaningful and realistic results in finite element analysis.

Fourier's law, also known as the law of heat conduction, describes the transfer of heat through a solid substance or conductor. It was formulated by the French physicist Jean-Baptiste Joseph Fourier in the 19th century and is one of the fundamental laws of heat transfer.

Fourier's law states that the heat flux (thermal energy transferred through a surface of a material) is proportional to the temperature gradient in the direction of heat transfer. Mathematically, Fourier's law can be expressed by the following equation:

$$q = -k * \nabla T$$

Where:

- q represents the heat flux (in units of energy transferred per unit area per unit time).
- k is the thermal conductivity coefficient of the material.
- $\nabla T$  is the temperature gradient (a vector quantity indicating the direction and magnitude of the greatest temperature change).

Thus, Fourier's law states that the heat flux is proportional to the temperature difference along the temperature gradient, and the thermal conductivity coefficient determines the material's ability to conduct heat. A higher thermal conductivity value indicates better heat conduction of the material.

Fourier's law is applicable for describing heat transfer in various systems, including solid objects, liquids, and gases. It is an important tool in thermal analysis and engineering, allowing for the prediction of temperature distributions and the design of efficient cooling and heat exchange systems.

					<i>Приложение 1</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>108</i>