

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

**Направление подготовки** (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

**Профиль** «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

**Отделение нефтегазового дела**

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов            воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального            газопровода</b>

УДК 622.691.4.052-712

**Студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б91	Дягилев Вадим Дмитриевич		

**Руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Чухарева Н.В.	к.х.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Чухарева Н.В.	к.х.н., доцент		

Томск – 2023 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

По основной образовательной программе подготовки бакалавров  
по направлению 21.03.01 «Нефтегазовое дело», профиль подготовки «Эксплуатация и  
обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
<b>УК(У)-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
<b>УК(У)-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
<b>УК(У)-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
<b>УК(У)-5</b>	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально- историческом, этическом и философском контекстах
<b>УК(У)-6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
<b>УК(У)-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
<b>УК(У)-8</b>	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
<b>УК(У)-9</b>	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
<b>УК(У)-10</b>	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен участвовать в проектировании технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области проектного менеджмента
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности

<b>ОПК(У)-6</b>	Способен принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии
<b>ОПК(У)-7</b>	Способен анализировать, составлять и применять техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью, в соответствии с действующими нормативными правовыми актами
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен осуществлять и корректировать технологические процессы нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-2</b>	Способен проводить работы по диагностике, техническому обслуживанию, ремонту и эксплуатации технологического оборудования в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-3</b>	Способен выполнять работы по контролю безопасности работ при проведении технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-4</b>	Способен применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-5</b>	Способен обеспечивать заданные режимы эксплуатации нефтегазотранспортного оборудования и контролировать выполнение производственных показателей процессов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки
<b>ПК(У)-6</b>	Способен проводить планово-предупредительные, локализационно-ликвидационные и аварийно-восстановительные работы линейной части магистральных газонефтепроводов и перекачивающих станций
<b>ПК(У)-7</b>	Способен выполнять работы по проектированию технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-8</b>	Способен использовать нормативно-технические основы и принципы производственного проектирования для подготовки предложений по повышению эффективности работы объектов трубопроводного транспорта углеводородов

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП ОНД ИШПР  
 \_\_\_\_\_ Чухарева Н.В.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

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

**В форме:**

бакалаврской работы
---------------------

**Студенту:**

Группа	ФИО
2Б91	Дягилев Вадим Дмитриевич

**Тема работы:**

<b>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов          воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального          газопровода</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	07.02.2023 г. № 38-108/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2023 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования являются аппараты воздушного охлаждения газа 2АВГ-100
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Дать характеристику компрессорной станции и установленным на ней аппаратам воздушного охлаждения; 2. Выполнение анализа нормативно-технической базы, в области проектирования, сооружения и

	эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения; 3. Выполнить тепловой расчет, определить поверхность охлаждения АВО и сравнить её с фактической; 4. Дать рекомендацию по использованию методов/метода совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа для повышения эффективности компрессорной станции.
<b>Перечень графического материала</b>	Рисунки и таблицы
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Рыжакина Татьяна Гавриловна Доцент (ОСГН, ШБИП), к.т.н.
«Социальная ответственность»	Гуляев Милий Всеволодович Старший преподаватель
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: реферат</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	07.02.2023 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Чухарева Н.В.	к.х.н., доцент		07.02.2023 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б91	Дягилев В.Д.		07.02.2023 г.

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

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б91	Дягилев Вадим Дмитриевич

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделения нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

**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 при совершенствовании аппаратов воздушного охлаждения
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Общая часть. Сборник Е5; Сборник Е22.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налоговый кодекс Российской Федерации ФЗ №67 от 24.07.2009 в ред. от 28.12.2022

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности проведения работ по врезки отвода в магистральный газопровод с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Выполнение SWOT-анализа проекта. Планирование научно-исследовательской работы.
2. Планирование и формирование бюджета научного исследования	Определение структуры работы. Расчёт трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджетного исследования.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности научного исследования	Расчёт показателей финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения.

Дата выдачи задания для раздела в соответствии с календарным учебным графиком	07.02.23
---	----------

Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		07.02.23

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б91	Дягилев Вадим Дмитриевич		07.02.23

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б91	Дягилев Вадим Дмитриевич

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделения нефтегазового дела</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

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

**Введение:**

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.

*Объектом исследования:* Аппараты воздушного охлаждения газа 2АВГ-100 на компрессорной станции.  
*Область применения:* Компрессорные станции магистрального газопровода.  
*Рабочая зона:* Полевые условия.

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

**1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:**

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

Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.  
 1. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 11.04.2023);  
 2. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования;  
 3. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

**2. Производственная безопасность:**

- Анализ потенциальных вредных и опасных факторов
- Обоснование мероприятий по снижению их воздействия

**Вредные факторы:**

- Производственные факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;
- Повышенный уровень шума;
- Повышенный уровень общей вибрации;
- Повышение запыленности и загазованности рабочей зоны;

**Опасные факторы:**

- Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного



	<p>оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции; обрушивающиеся горные породы; падающие деревья и их части; струии волны, включая цунами; ветер и вихри, включая смерчи и торнадо;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пожароопасность и взрывоопасность.</li> <li>– производственные факторы, связанные с электрическим током;</li> </ul> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> нормирование рабочего времени наоткрытом воздухе, система обогрева и мероприятийпо обеспечению обогрева, использование средств защиты органов дыхания и кожных покровов(перчатки, очки, спецодежда), предупредительные вывески и сигналы при работе оборудования, соблюдения условий и правил эксплуатации оборудования и электрических приборов.</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации:</b></p>	<p><b>Воздействие на биосферу:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• загрязнение почвы и водных объектов производственными отходами;</li> </ul> <p><b>Воздействие на литосферу:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• твердые бытовые отходы при техническом обслуживании и ремонте аппаратов воздушного охлаждения;</li> <li>• охлаждающих жидкостей.</li> </ul> <p><b>Воздействие на гидросферу:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• возможный разлив смазочно-охлаждающих жидкостей</li> </ul> <p><b>Воздействие на атмосферу:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• выброс газа;</li> <li>• выбросы продуктов сгорания топлива.</li> </ul>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p><b>Возможные ЧС:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– аварийная остановкапри превышении частоты вращения вентилятора;</li> <li>– нарушениерабочего режима охлаждения;</li> <li>– аварийная остановкапри превышении уровня вибрации;</li> </ul> <p><b>Наиболее типичная ЧС:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– нарушение рабочего режима охлаждения.;</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела в соответствии с календарным учебным графиком</b>	
--	--

**Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Гуляев М.В.			

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2Б91	Дягилев Вадим Дмитриевич		

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

**Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)**  
**Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»**  
**Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»**  
**Уровень образования бакалавриат**  
**Отделение нефтегазового дела**  
**Период выполнения** осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года

**Форма представления работы:**

бакалаврская работа

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.02.2023	<i>Введение</i>	5
28.02.2023	<i>Обзор литературы</i>	10
15.03.2023	<i>Общая характеристика объекта исследования</i>	5
18.03.2023	<i>Аппарат воздушного охлаждения</i>	5
27.03.2023	<i>Исследование технического решения по повышению эффективности аппарата воздушного охлаждения</i>	10
07.04.2023	<i>Тепловой расчет</i>	5
14.04.2023	<i>Гидравлический расчет теплообменного аппарата</i>	15
05.05.2023	<i>Расчет экономического эффекта и повышение энергосбережения путем внедрения частотно-регулируемого привода</i>	10
04.05.2023	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
15.05.2023	<i>Социальная ответственность</i>	10
25.05.2023	<i>Заключение</i>	5
01.06.2023	<i>Презентация</i>	10
	<i>Итого</i>	100

**Составил преподаватель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Чухарева Н.В.	к.х.н., доцент		07.02.2023

**Согласовано:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Брусник О.В.	к.п.н.		07.02.2023

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 96 с., 17 рис., 21 табл., 27 источник, 1 прил.

**Ключевые слова:** компрессорная станция, аппарат воздушного охлаждения, охлаждение газа, теплообменная секция.

**Объектом исследования** являются аппараты воздушного охлаждения 2АВГ-100.

**Цель работы** – обеспечение эффективного охлаждения природного газа после компримирования.

**Методология проведения работы:** в работе проведены расчеты экономического эффекта и повышения энергосбережения путем внедрения частотно-регулируемого привода на аппарате воздушного охлаждения 2АВГ-100. Гидравлические и тепловые расчеты АВО.

**Основные конструктивные решения:** применение устройства частотно-регулируемого привода и изменение угла лопастей.

**Область применения:** аппарат воздушного охлаждения.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<i>Реферат</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					12	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		

## Abstract

Final qualifying work 96 pages, 17 pictures., 21 tables., 27 source, 1 appendix

Keywords: compressor station, air cooling unit, gas cooling, heat exchange section.

The object of the study is 2AVG-100 air cooling devices.

The purpose of the work is to ensure effective cooling of natural gas after compression.

Methodology of the work: calculations of the economic effect and increase in energy saving were carried out by introducing a frequency-controlled drive on the 2AVG-100 air cooling unit. Hydraulic and thermal calculations of ABO.

The main design solutions: the use of a frequency-controlled drive device and changing the angle of the blades.

Scope of application: air cooling unit.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<i>Abstract</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					13	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		

## Определения, сокращения

### Определения:

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Компрессорная станция (КС)** – комплекс сооружений и оборудования для повышения давления сжатия газа при его добыче, транспортировке и хранении.

**Аппарат воздушного охлаждения (АВО)** – это теплообменное оборудование, специализирующееся на охлаждении жидкостей и газа.

**Газопровод магистральный, МГ** – комплекс производственных объектов, обеспечивающих транспорт природного или попутного нефтяного газа, в состав которого входят однониточный газопровод, компрессорные станции, установки дополнительной подготовки газа (например, перед морским участком), участки с лупингами, переходы через водные преграды, запорная арматура, камеры приема и запуска очистных устройств, газораспределительные станции, газо-измерительные станции, станции охлаждения газа.

**Вентилятор АВО** – вентилятор, который, вращаясь в полости коллектора, нагнетает воздух через межтрубное пространство секций.

**Компримирование** – технология промышленной обработки и подготовки газа (сжатие), повышение давления газа с помощью компрессора.

**Частотно-регулируемый привод** — система управления частотой вращения ротора асинхронного электродвигателя. Состоит из собственно электродвигателя и частотного преобразователя.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<b>Определения, сокращения</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					14	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела</i>		
						<i>Группа 2Б91</i>		

*Сокращения:*

**КС** – компрессорная станция;

**МГ** – магистральный газопровод;

**ГПА** – газоперекачивающий агрегат;

**АВО** – аппарат воздушного охлаждения;

**АВГ** – аппарат воздушного охлаждения горизонтальный;

**АВВ** – аппарат воздушного охлаждения вертикальный;

**АВЗ** – аппарат воздушного охлаждения зигзагообразный;

**АВШ** – аппарат воздушного охлаждения шатровый;

**УОГ** – установка охлаждения газа;

**ОГ** – охладитель газа;

**РУОГ** – рекуперативная установка охлаждения газа;

**СОГ** – станция охлаждения газа;

**УВДОГ** – установка водяного охлаждения газа;

**ПКХМ** – паровая компрессионная холодильная машина;

**АВГХМ** – абсорбционная водоаммиачная холодильная машина;

**ГТУ** – газотурбинная установка;

**ТА** – теплообменный аппарат;

					<i>Определения, сокращения</i>	<i>Лист</i>
						15
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>17</b>
<b>1. Общее представление о современной компрессорной станции .....</b>	<b>19</b>
1.1. Технические устройства, позволяющие охладить газ на КС .....	22
1.2. Общие сведения об аппаратах воздушного охлаждения газа .....	29
1.3. Основные элементы и типы аппаратов воздушного охлаждения .....	30
1.4. Обеспечение необходимости охлаждения природного газа после компримирования .....	39
1.5. Обоснование необходимости повышения эффективности АВО .....	40
<b>2. Характеристика объекта исследования .....</b>	<b>41</b>
2.1. Общее описание компрессорной станции «Нимырская» магистрального газопровода Силы Сибири. ....	41
2.2. Технологическая схема АВО .....	43
<b>3. Технические решения по повышению эффективности АВО .....</b>	<b>46</b>
3.1. Использование композитных материалов в рабочем колесе аппарата воздушного охлаждения .....	47
3.2. Изменение углов атаки лопастей вентиляторов .....	48
3.3. Установка частотно-регулируемых приводов .....	50
<b>4. Расчетная часть .....</b>	<b>52</b>
4.1. Тепловой расчет АВО .....	52
4.2. Гидравлический расчет теплообменного аппарата. ....	58
4.3. Расчет внедрения частотно-регулируемого привода .....	60
<b>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсообеспечение .....</b>	<b>63</b>
5.1. Анализ экономической эффективности. SWOT – анализ .....	63
5.2. Планирование научно–исследовательской работы .....	67
5.3. Определение трудоемкости выполняемых работ .....	68
5.4. Разработка графика проведения научного исследования .....	69
5.5. Расчет материальных затрат НИИ .....	71
5.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	75
<b>6. Социальная ответственность .....</b>	<b>79</b>
6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	80
6.2. Организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны .....	81
6.3. Производственная безопасность .....	82
6.4. Экологическая безопасность .....	89
6.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	91
<b>Заключение .....</b>	<b>93</b>
<b>Список использованных источников .....</b>	<b>94</b>
<b>Приложение А .....</b>	<b>93</b>

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<b>Оглавление</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					16	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		



## Введение

Транспортировка газа на большие расстояния в нашей стране выполняется по трубам с большим диаметром, которые оснащены сложным газотранспортным оборудованием.

Пропускная способность компрессорных станций, установленных на магистральных газопроводах, играет значительную роль в определении их производительности и транспортной эффективности. Эта способность зависит не только от количества и мощности газоперекачивающих агрегатов, но также от эффективности их работы в процессе эксплуатации. Повышение эффективности ГПА можно достичь путём модернизации аппаратов воздушного охлаждения создав комплекс мероприятий, позволяющий решить данную проблему.

Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода имеет важное значение в современных условиях, когда увеличивается потребность в газе и магистральные газопроводы играют ключевую роль в транспортировке газа на большие расстояния.

Повышение эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на компрессорной станции позволяет сократить расходы на электроэнергию и уменьшить нагрузку на энергетические системы, что приводит к экономии ресурсов и снижению затрат на производство. Кроме того, оптимизация работы аппаратов воздушного охлаждения может повысить уровень эффективности и безопасности на производстве.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					17	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		

**Цель выпускной квалификационной работы:** обеспечение эффективного охлаждения природного газа после компримирования.

Для реализации поставленной цели необходимо выполнить следующие **задачи:**

1. Представить общую характеристику современной компрессорной станции с используемыми технологиями регулирования температуры природного газа, поступающего в магистральный газопровод после компримирования;

2. Представить общее устройство и принцип работы аппаратов воздушного охлаждения, эксплуатируемых на объекте исследования с определением их текущих технологических параметров.

3. Определить технологию изменения способа управления АВО для повышения энергосбережения при эксплуатации технического объекта.

4. Выполнить технологические расчеты, подтверждающие эффективность предложенного решения.

**Объектом исследования** являются аппараты воздушного охлаждения 2АВГ-100.

**Предмет исследования:** процесс эксплуатации аппарата воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода.

**Область применения:** компрессорные станции.

					<i>Введение</i>	<i>Лист</i>
						18
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## 1. Общее представление о современной компрессорной станции

Компрессорная станция (КС), расположенная на магистральном газопроводе, выполняет функцию поддержания заданного давления транспортируемого газа внутри газопровода. В зависимости от показателей газа, которые необходимо обеспечить, КС может быть составлена из одного или нескольких агрегатов.

Газоперекачивающий агрегат – это машины, которые принимают газ из газопровода, увеличивают его давление и отдают в следующий участок трубопровода. Главной задачей компрессорной станции является создание достаточной газодинамической энергии, необходимой для перемещения газа по трубопроводу на заданном расстоянии. Компрессорные станции на магистральных газопроводах находятся, на расстоянии 100–150 километров друг от друга.

Газоперекачивающие агрегаты, используемые для увеличения давления газа на компрессорных станциях, можно разделить на три категории в зависимости от их типа привода: газовые турбины (ГТУ), агрегаты с электроприводом (ЭГПА) и газомотокомпрессорные установки (ГМК).

ГПА имеют разную типоразмерную линейку, выбор которой зависит от объема перекачиваемого газа. Например, компрессоры с газотурбинным приводом "ГПА-16У", могут обрабатывать до 16 млрд. м<sup>3</sup>/сутки газа. Поэтому перед выбором типового размера обязательно следует проводить тщательные расчеты производительности КС.

Компрессорная станция всегда подвергается большим физическим нагрузкам вследствие серьезных колебаний давления. Именно поэтому все элементы установки должны быть более технологичными и герметичными, что позволяет исключить их выход из строя и увеличивает в эксплуатационный период.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<b>Общее представление о современной компрессорной станции</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					19	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		

Кроме того, к КС магистрального газопровода относится также широкий спектр оборудования, такой как:

- 1 - узел подключения КС к магистральному газопроводу;
- 2 - камеры запуска и приема очистного устройства магистрального газопровода;
- 3 - установка очистки технологического газа, состоящая из пылеуловителей и фильтр-сепараторов;
- 4 - установка охлаждения технологического газа;
- 5 - газоперекачивающие агрегаты;
- 6 - технологические трубопроводы обвязки компрессорной станции;
- 7 - запорная арматура технологических трубопроводов обвязки агрегатов;
- 8 - установка подготовки пускового и топливного газа;
- 9 - установка подготовки импульсного газа;
- 10 - различное вспомогательное оборудование;
- 11 - энергетическое оборудование;
- 12 - главный щит управления и система телемеханики;
- 13 - оборудование электрохимической защиты трубопроводов обвязки

КС.

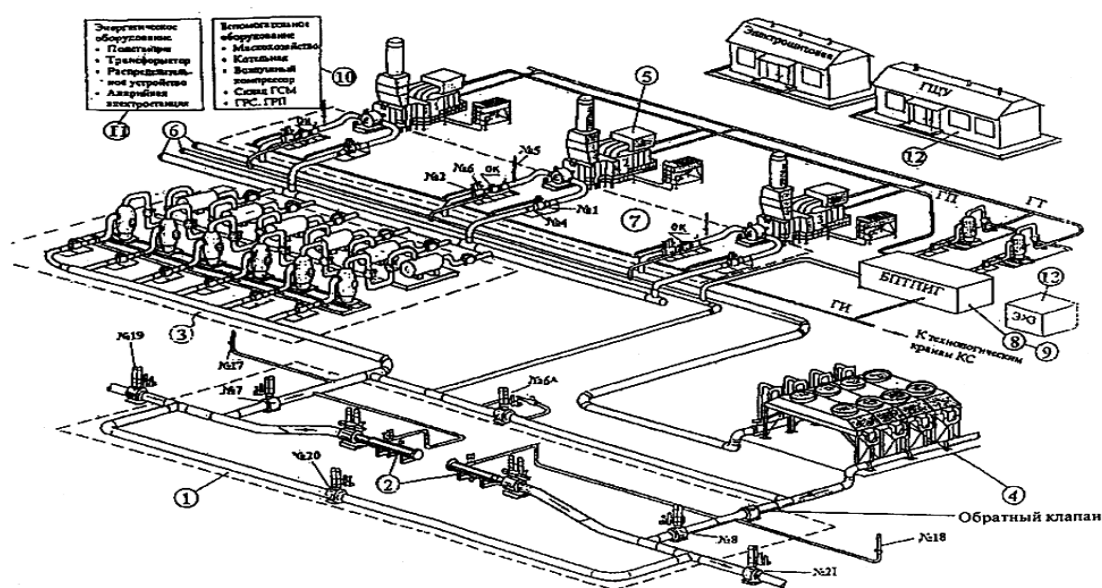


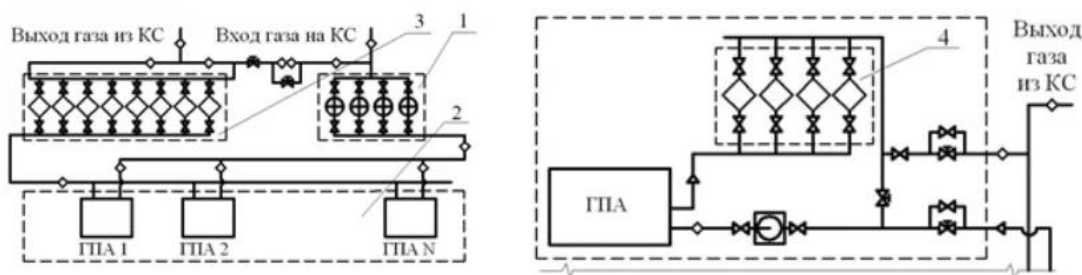
Рисунок 1 – Устройство типовой КС ПАО «Газпром» [14]

					Общее представление о современной компрессорной станции	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Компрессорные станции оснащаются системами обеспечения безопасности и контроля, которые осуществляют мониторинг параметров газа, технологического оборудования и окружающей среды.

Таким образом, КС магистрального газопровода - это сложный технологический объект, выполняющий важную функцию поддержания давления в газопроводах для обеспечения правильной и безопасной транспортировки газа на большие расстояния. Компрессорные станции играют важную роль в экономике государства и обеспечивают безопасность в работе газопроводной системы в целом.

В настоящее время известны и широко применяются общецеховая и модульная компоновка оборудования КС и, в частности, компоновка газоперекачивающего агрегата и установки воздушного охлаждения газа.



а) общецеховая

б) модульная

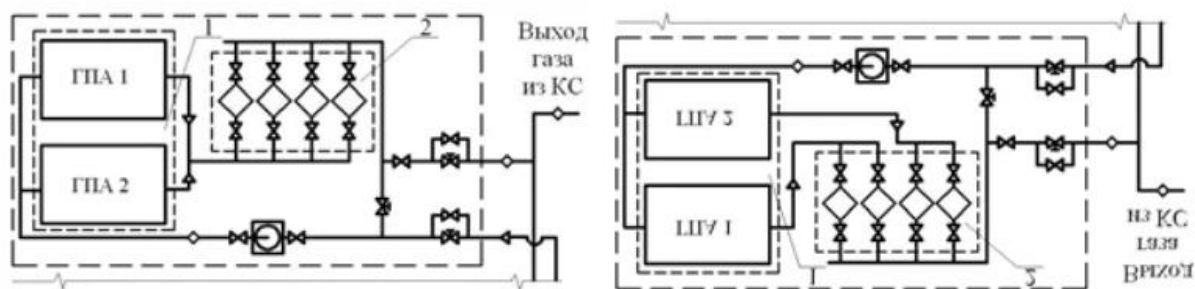
1 – площадка для АВО, 2 – площадка для ГПА, 3 – площадка для общецеховой АВО, 4 – площадка для модульной АВО

Рисунок 2 – Компоновка оборудования КС

Модульная компоновка КС обладает множеством преимуществ по сравнению с традиционным общецеховым подходом. Она позволяет легко и быстро увеличивать мощность КЦ КС, повышает эффективность использования оборудования и снижает газодинамические потери в трубопроводах. Этот подход также сокращает сроки и стоимость строительства, а также уменьшает площадь КЦ и операционные расходы.

					Общее представление о современной компрессорной станции	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Отмечается, что модульная компоновка имеет недостатки, такие как значительное увеличение количества необходимых аппаратов для охлаждения газа. Однако, для установок с низкой производительностью ГПА может быть использован комбинированный вариант компоновки, при котором несколько газоперекачивающих агрегатов объединены в группу и имеют общую установку воздушного охлаждения газа в одном модуле линейной КС.



с) общая

д) раздельная

1 – площадка для группы ГПА, 2 – площадка для комбинированной АВО

Рисунок 3 – Комбинированная компоновка оборудования КС

### 1.1. Технические устройства, позволяющие охладить газ на КС

С точки зрения использования для охлаждения газа на магистральных газопроводах, рассмотрены особенности разных типов систем охлаждения.

Для охлаждения газа на КС могут применяться различные теплообменные аппараты, называемые "охладителями газа":

- кожухотрубные
- оросительные
- воздушные

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Дягилев В.Д.				<b>Технические устройства, позволяющие охладить газ на КС</b>	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Чухарева Н.В.						22	96
Рук-ль ООП	Чухарева Н.В.					Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		

Эти охладители соединяются между собой:

- последовательно
- параллельно
- последовательно-параллельно

При осуществлении проектных работ и модернизации установок по охлаждению газов важным этапом является выбор оптимальной схемы подключения охладительных устройств, при этом установки для охлаждения газов могут быть классифицированы по нескольким критериям, что позволяет решать текущие задачи более эффективно и результативно.

В зависимости от количества теплоносителей, используемых для охлаждения газа, УОГ можно разделить на две группы:

- простые
- комбинированные

В которых используется один и нескольких теплоносителей. В этих УОГ применяется различное по устройству и составу оборудование.

Устройство охлаждения газа может быть либо открытым типом, если для охлаждения используется вода из искусственного или естественного водоема, или атмосферный воздух, либо закрытым типом, если для охлаждения применяется промежуточный холодный теплоноситель, который не контактирует с естественными ресурсами.

#### 1. Установка водяного охлаждения газа

Водяное охлаждение газа осуществляется с помощью специальных водоохладителей, которые устанавливаются на компрессорной станции. Они представляют собой трубчатые или пластинчатые теплообменники, через которые проходит вода из водохранилища или другого источника.

Термин "оборотная вода" используется в системах охлаждения газа и может быть охлаждена различными способами, включая испарительные и поверхностные охладители. Еще одной альтернативой является сброс нагретой оборотной воды в природный источник водоснабжения, что

					Технические устройства, позволяющие охладить газ на КС	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

приводит к ее существенному охлаждению. Такая система охлаждения называется прямоточной или открытой.

При разработке конструкции УВДОГ необходимо учитывать множество факторов, включая наличие и удаленность источника водоснабжения, необходимый дебит источника для удовлетворения потребностей УВДОГ в воде, разницу в геодезических высотах уровня воды и оси циркуляционных насосов, а также качество и температуру исходящей из источника воды.

Установка водяного охлаждения газа состоит из теплообменника, на котором происходит теплообмен между газом и охлаждающей водой. Газ поступает на вход теплообменника, проходит через трубки, наружную поверхность которых циркулирует охлаждающая вода. При этом тепло передается от газа к охлаждающей воде. Охлажденный газ выходит из теплообменника и направляется на следующую ступень компрессора.

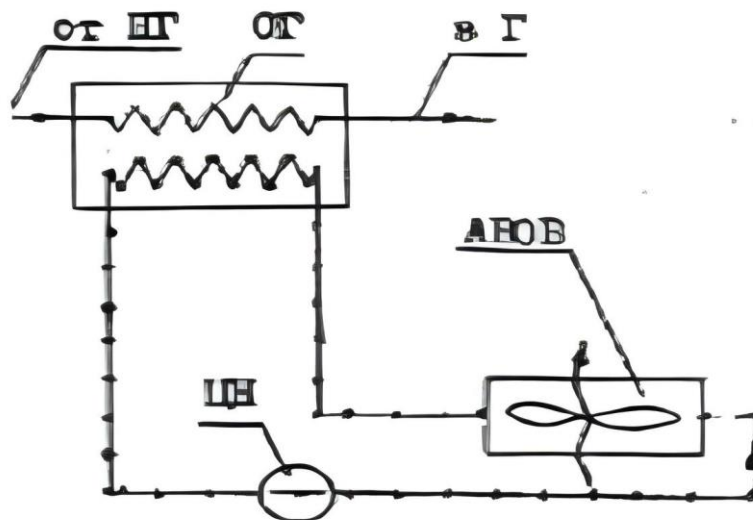


Рисунок 4 – Схема водяного охлаждения газа УВДОГ

## 2. Установка воздушного охлаждения газа

В открытом типе установки воздушного охлаждения газа (УОГ), газ проходит через несколько аппаратов воздушного охлаждения (АВОГ), объединенных параллельно, и охлаждается атмосферным воздухом до температуры, выше температуры воздуха на 10-20 °С. Использование кранов на входе и выходе каждого АВОГ позволяет изменять количество работающих

					Технические устройства, позволяющие охладить газ на КС	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24



АВОГ в установке. Кроме того, существует байпасная линия для подачи газа от нагнетателей в линейный участок трубопровода, минуя УОГ.

Установка воздушного охлаждения газа состоит из вентиляторов, радиаторов и воздухопроводов. Газ поступает на вход радиатора, где происходит его охлаждение за счет теплообмена между газом и охлаждающим воздухом. Охлажденный газ выходит из системы и направляется на следующую ступень компрессора или на штатную сборку газа.

Радиаторы воздушного охлаждения газа могут быть как одноступенчатыми, так и многоступенчатыми, в зависимости от количества вентиляторов и размеров радиаторов. Количество вентиляторов определяется по расчету, исходя из требований к охлаждению газа. Установка воздушного охлаждения газа на КС является эффективным способом охлаждения газа и позволяет повысить эффективность работы компрессора. Она широко применяется в нефтегазовой отрасли для охлаждения газа на КС.

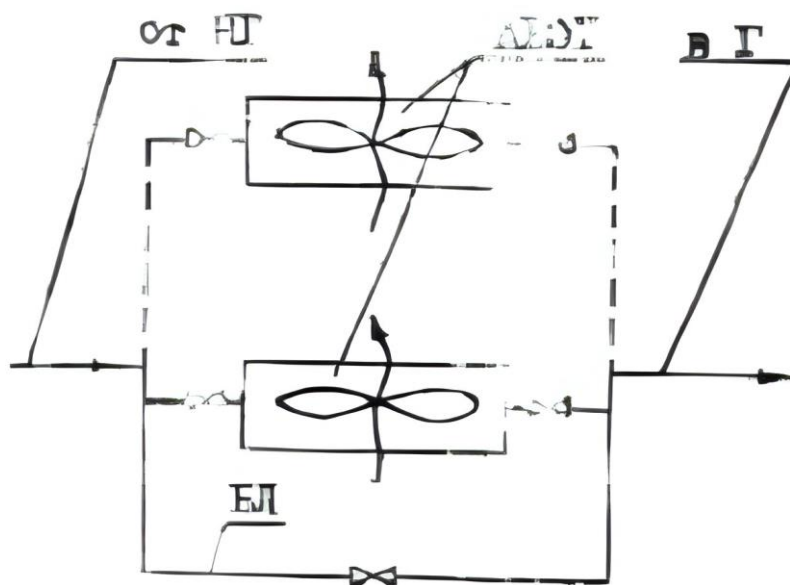


Рисунок 5 – Схема воздушного охлаждения газа АВО

### 3. Рекуперативная установка охлаждения газа

Устройство, известное как рекуперативная установка охлаждения газа (РУОГ), создано с целью обеспечения почти изотермической температуры транспортируемого газа. Эта установка существенно сокращает потери тепла за счет использования тепла, выделяющегося при охлаждении газа, для

					Технические устройства, позволяющие охладить газ на КС	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

нагревающих других средств. Благодаря автостабилизации, РУОГ способна поддерживать почти постоянную температуру газа на выходе, даже при значительных изменениях температуры окружающей среды.

Для эффективного охлаждения газа на КС используется система рекуперации, которая состоит из нескольких компонентов: пластинчатый теплообменник, воздушный охладитель, газопровод, насос и вентилятор. На первом этапе газ проходит через пластинчатый теплообменник, где он предварительно нагревается. После этого газ компримируется в нагнетателях и проходит два этапа охлаждения: первый - в аппаратах воздушного охлаждения, второй - транспортируемым газом в ОГР. Ступени охлаждения могут быть одной или несколькими и могут быть параллельно соединены друг с другом.

Определенное количество природного газа передается через теплообменник, который располагается на нескольких уровнях. Воздух, подаваемый вентиляторами, проходит через теплообменник и разогревает газ, в то время как газ, переданный через теплообменник, охлаждается. Таким образом, тепло преобразуется из газа в воздух. Воздухораспределитель отвечает за то, чтобы вентиляторы работали равномерно, распределяя поток воздуха таким образом, чтобы максимально эффективно использовать весь теплообменник.

Если температура газа оказывается ниже определенной температуры, определяемой установленными параметрами, то вентиляторы отключаются, что позволяет газу охлаждаться до определенной температуры, заданной прибором для управления температурой. Это позволяет сбалансировать процесс охлаждения природного газа, предотвращая его переохлаждение.

Рекуперативная установка охлаждения газа на КС может быть использована для охлаждения не только газа, но и других сред, таких как масла и воды. Это обеспечивает дополнительную экономию тепла и повышает эффективность работы КС.

					<i>Технические устройства, позволяющие охладить газ</i> на КС	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26

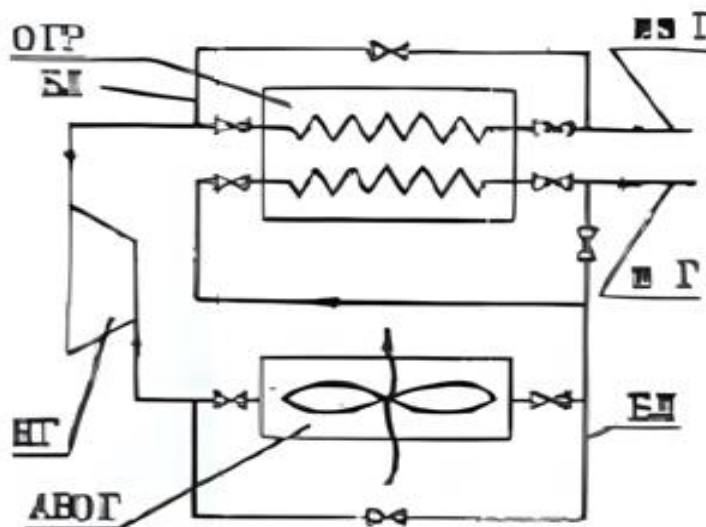


Рисунок 6 – Схема рекуперативной установки охлаждения газа РУОГ

#### 4. Станция охлаждения газа

Станция охлаждения газа (СОГ) на компрессорной станции (КС) предназначена для охлаждения газа, который подается на вход компрессора. Это позволяет уменьшить температуру газа и увеличить его плотность, что повышает эффективность работы компрессора.

Газ, находящийся в комбинированной станции охлаждения газа (СОГ), проходит первую ступень охлаждения, в которой он охлаждается в АВОГ или ОГВД.

Затем газ охлаждается в охладителях, которые вместе с холодильной машиной образуют второй этап охлаждения. Для этого шага можно использовать паровые компрессионные (ПКХМ) или абсорбционные водоаммиачные холодильные машины (АВХМ), которые используют теплоту продуктов сгорания ГТУ. Хладагенты, используемые в системах ПКХМ и АВХМ, представляют собой вещества с низким уровнем температуры кипения при атмосферном давлении. Например, это может быть пропан-бутановая смесь для систем ПКХМ и водоаммиачные растворы в АВХМ, состоящие из рабочего тела (аммиака) и поглотителя (воды) или адсорбента. Температура кипения адсорбента должна быть выше, чем температура рабочего тела для

					Технические устройства, позволяющие охладить газ на КС	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

эффективной работы системы. Выбор хладагента составляет ключевую роль в процессе проектирования и эксплуатации систем холодильных установок.

В станциях охлаждения газа возможно охлаждение газа практически до любой температуры в течение всего года, что позволяет применять системы обеспечения тепловых режимов для газопроводов, проходящих через районы с многолетней мерзлотой. Промежуточные и головные компрессорные станции могут использоваться с этой целью.

Решение о выборе типа установки охлаждения газа (УОГ) при проектировании или реконструкции зависит от многих факторов, включая результаты технико-экономического расчета МГ. Эти расчеты учитывают различные технологические ограничения, такие как температура транспортируемого газа, наличие охлаждающего теплоносителя и его стоимость, возможные изменения температуры охлаждения в течение года и влияние на окружающую среду. Чем более точно учитываются все эти факторы, тем более эффективно и экономично будет работать установка охлаждения газа.

Такой расчет обеспечивает оптимальные условия для работы компрессора и сокращает энергозатраты на сжатие газа, что, в свою очередь, приводит к снижению затрат на производство и повышению эффективности работы КС.

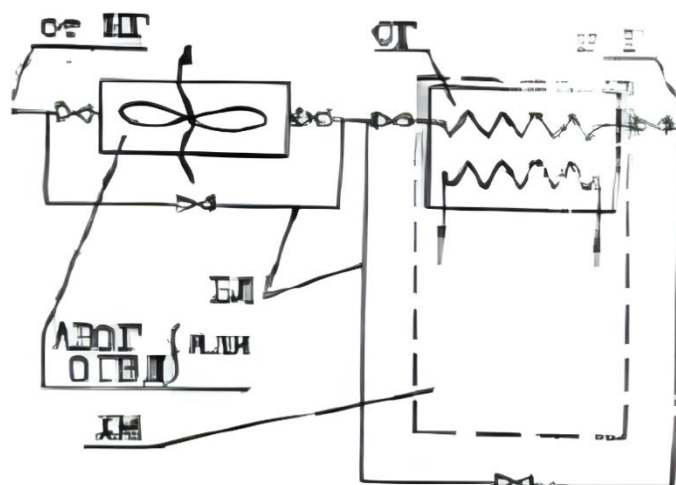


Рисунок 7 – Схема станции охлаждения газа СОГ

					Технические устройства, позволяющие охладить газ на КС	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

## 1.2. Общие сведения об аппаратах воздушного охлаждения газа

Аппараты воздушного охлаждения газа являются неотъемлемой частью компрессорных станций магистральных газопроводов. Газ, перед тем как попасть в компрессор, проходит через аппараты воздушного охлаждения, где он охлаждается, что позволяет увеличить его плотность и обеспечить более эффективную работу компрессоров.

Сегодня в КС наиболее востребованными являются устройства для охлаждения газа воздушным способом (АВО), которые доступны в различных вариантах. При работе с АВО важным аспектом является глубина охлаждения, которая зависит от разницы температур газа на входе и выходе устройства.

Отметим, что использование технологического газа сталкивается с ограничением глубины охлаждения из-за температурных условий окружающей среды, особенно в период жарких летних дней. Это связано с тем, что выходная температура газа, прошедшего через АВО, не может быть ниже температуры окружающего воздуха, что может привести к негативным последствиям, таким как деформация грунта и повреждение трубопроводов.

Однако, несмотря на ограничения по глубине охлаждения, АВО являются экологически чистыми устройствами и отличаются высокой надежностью в эксплуатации.

Основная характеристика аппаратов воздушного охлаждения компрессорной станции - это его эффективность в поддержании оптимальной температуры газа. Системы воздушного охлаждения имеют большое значение для качественной работы компрессорной станции, так как они позволяют предотвратить перегрев оборудования и сохранить его работоспособность на необходимо высоком уровне.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<b>Общие сведения об аппаратах воздушного охлаждения</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					29	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		



К теплообменному оборудованию для охлаждения газа предъявляются некоторые требования:

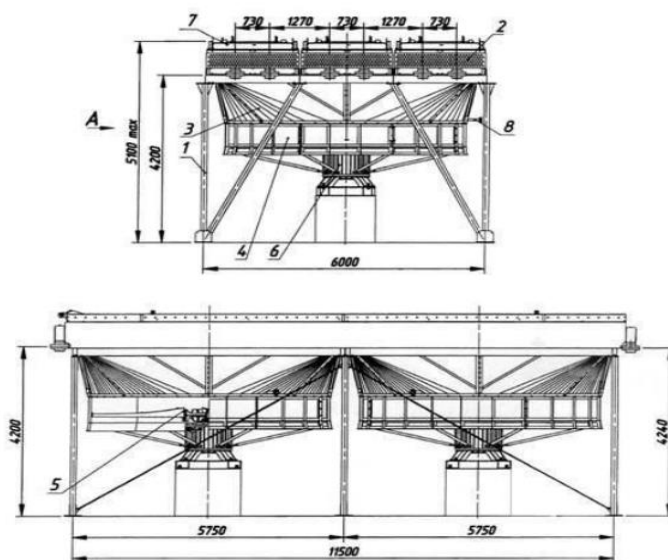
- невозможность смешения газа и охлаждающей среды;
- низкий уровень засоряемости поверхностей теплообменника и всего аппарата;
- доступность ремонта и удобство обследования;
- надежность работы аппарата и его узлов;
- невысокая стоимость и простота изготовления и обслуживания.

По расположению теплообменных секций АВО классифицируются на:

- горизонтальные (АВГ);
- вертикальные (АВВ);
- зигзагообразные (АВЗ);
- шатровые (АВШ);

Аппараты воздушного охлаждения горизонтальные

Конструкция аппарата воздушного охлаждения горизонтального типа АВГ изображена на рисунке 8.



1 - Металлоконструкция, 2 - Секция, 3 - Диффузор, 4 - Коллектор вентилятора, 5 - Колесо вентилятора, 6 - Электродвигатель, 7 - Жалюзи, 8 - Увлажнитель воздуха

Рисунок 8 - Аппарат воздушного охлаждения горизонтального типа  
АВГ

					Основные элементы и типы аппаратов воздушного охлаждения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

При прохождении газа через трубы его температура снижается благодаря передаче тепла воздуху через ребристую поверхность труб. Вентиляторы, обеспечивающие подачу охлаждающего воздуха, чаще всего располагаются под теплообменником, что позволяет использовать нагнетательный принцип.

Вентилятор, расположенный на нижней горизонтальной поверхности, обеспечивает удобство обслуживания, легко сочетается с любым приводом и работает с помощью холодного воздуха, что создает энергетические преимущества при использовании АВО.

Сжатый газ, который был нагнетен, передается в трубчатые теплообменные секции АВО (трубы расположены горизонтально в секциях АВГ). Охлаждающий воздух подается в устройство снизу, проходит через коллектор (где поток регулируется и выравнивается скоростное поле) и поступает в теплообменные секции через рабочее колесо осевого вентилятора через диффузор (где статическое давление повышается, а скоростное поле выравнивается закрученным потоком). После прохождения секций горячий воздух выходит в атмосферу. Естественное движение снизу вверх нагретого воздуха используется для снижения электроэнергии, потребляемой вентилятором, поскольку количество поступающего воздуха может быть контролируемо углом настройки лопастей вентилятора. Чем круче установлены лопасти, тем выше производительность, но одновременно увеличивается энергопотребление электродвигателя вентилятора.

Ключевым индикатором является разница температур входящего и выходящего воздуха в системе АВО, которая отражает эффективность охлаждения и является критически важным фактором в процессе. Стоит отметить, что это значение ограничено температурой окружающей среды, особенно в летний период, и не может быть ниже температуры на улице после прохождения через АВО. Являются экологически безопасными и легко управляемыми устройствами.

					Основные элементы и типы аппаратов воздушного охлаждения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32



Трубы в системе АВО оснащены наружным оребрением, которое может быть выполнено из навитых алюминиевых или стальных лент, а также ребер, прикрепленных к основной трубе с использованием методов горячей гальванизации или пайки на твердых припоях. Минимальная толщина ребер составляет 0,35 мм.

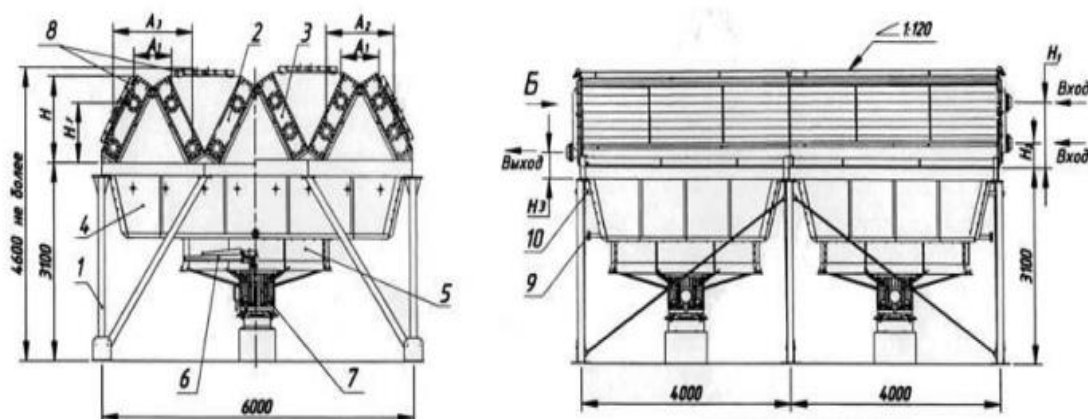
Поворот лопастей вентилятора вручную позволяет несколько раз в течение суток изменять рабочий режим аппарата воздушного охлаждения, что обеспечивает экономию расхода электроэнергии до 60 %.

При отключении двигателей, трубы системы воздушного охлаждения принужденно охлаждаются за счет естественной конвекции воздуха. Летом данный метод охлаждения составляет лишь 20-30% от общей тепловыработки, которую получает аппарат благодаря принудительному обдуву труб. Однако в зимнее время года, доля этого способа охлаждения достигает целых 65%. Научно доказано, что при температуре воздуха ниже 25 градусов Цельсия, аппарат способен максимально задействовать свою тепловую выработку без использования вентиляторов.

Сегодня на компрессорных станциях наиболее распространены горизонтальные аппараты воздушного охлаждения, которые не нуждаются в подготовке теплоносителей, имеют простые схемы и являются надежными в использовании.

#### Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразные

Конструкция аппарата воздушного охлаждения зигзагообразного типа АВЗ изображена на рисунке 9.



1 – Металлоконструкция, 2 – Секция левая, 3 – Секция правая, 4 – Диффузор, 5 – Коллектор вентилятора, 6 – Колесо вентилятора, 7 – Электродвигатель, 8 – Жалюзи, 9 – Увлажнитель воздуха, 10 – Подогреватель воздуха

Рисунок 9 - Аппарат воздушного охлаждения зигзагообразного типа АВЗ

Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразные – это специальные устройства, которые используются для снижения температуры компрессионного воздуха на компрессорной станции. Они работают на основе простого принципа: воздух, нагретый при компрессии, проходит через серию трубок, выстроенных в зигзагообразную форму, и при контакте с охлаждающей средой его температура снижается до заданного уровня.

Данные устройства предназначены для эффективного охлаждения и конденсации различных жидких, газообразных и парообразных средств, применяемых в технологических процессах нефтеперерабатывающей, нефтехимической и других отраслях химической промышленности. Они изготовлены из биметаллических труб, а для установки секций применяются специальные горизонтальные опоры.

Аппарат воздушного охлаждения зигзагообразного типа состоит из нескольких секций, каждая из которых выполняет определенную функцию. В первой секции газ подвергается предварительному охлаждению путем контакта с холодной водой, проходящей через рубашку, после чего он поступает в зигзагообразный корпус аппарата. Здесь газ движется по спирали, обмениваясь теплом с воздухом, который поступает в аппарат через специальные воздуховоды. После прохождения через все спирали газ попадает во вторую секцию, где он дополнительно охлаждается с помощью воды, поступающей через рубашку. Наконец, охлажденный газ направляется на компрессоры для дальнейшей обработки.

Один из главных преимуществ аппарата воздушного охлаждения зигзагообразного типа заключается в его высокой эффективности. Он способен охладить газ до требуемой температуры, сохраняя при этом

					<i>Основные элементы и типы аппаратов воздушного охлаждения</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		34

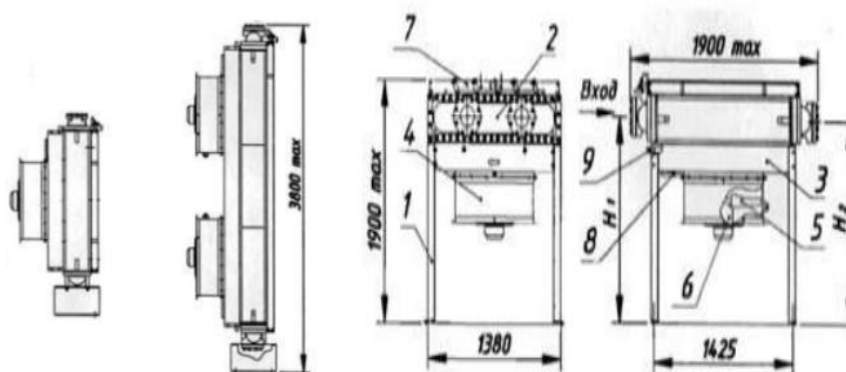
хорошую производительность и не нагружая компрессорную установку. Кроме того, этот тип аппарата оказывает на среду минимальное воздействие, что делает его экологически безопасным.

Существует несколько факторов, влияющих на эффективность аппарата воздушного охлаждения зиграгообразного типа. Один из главных – это выбор правильных параметров, таких как скорость потока газа, температура воздуха, давление и температура холодной воды. Кроме того, важно обеспечить правильную эксплуатацию аппарата, что включает в себя регулярную проверку технического состояния и чистку от накопившейся грязи и отложений.

Конструкция нижней платформы проявляет высокую прочность, обеспечивая надежную поддержку устройства. Уникальная рама для монтирования привода вентилятора позволяет обеспечить бесшумную работу прибора. Эффективное вращение колеса в коллекторе дает возможность достигать высокой производительности. Наличие системы рециркуляции с жалюзи в разных частях устройства защищает от переохлаждения вещества, что особенно важно в условиях зимнего периода. Различные варианты вентиляторов, выполненных из композитных материалов, обеспечивают более длительный срок службы всего устройства.

Аппараты воздушного охлаждения малопоточные вертикальные

Конструкция аппарата воздушного охлаждения вертикального типа АВМ-В изображена на рисунке 10.



					Основные элементы и типы аппаратов воздушного охлаждения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

1 – Металлоконструкция, 2 – Секция, 3 – Диффузор, 4 – Коллектор вентилятора, 5 – Колесо вентилятора, 6 – Электродвигатель, 7 – Жалюзи, 8 – Увлажнитель воздуха, 9 – Подогреватель воздуха

Рисунок 10 - Аппарата воздушного охлаждения малопоточный вертикального типа АВМ-В

АВМ - серия малопоточных аппаратов содержит одну секцию оребренных биметаллических труб, наполненных рабочей средой, которая движется по ним. Осевой вентилятор нагнетает воздух в межтрубное пространство, что вызывает теплообмен и охлаждение рабочего продукта. Электродвигатель вентилятора выполнен во взрывонепроницаемом исполнении.

Дополнительно АВМ, может быть укомплектован оборудованием:

- ручными или пневматическими жалюзи,
- увлажнителем или подогревателем воздуха,
- системой рециркуляции нагретого воздуха.

Вертикальные аппараты воздушного охлаждения на компрессорной станции используются в целях охлаждения воздуха, который подается в приемную камеру в качестве входного материала для дальнейшей обработки в различных процессах. Эти аппараты позволяют уменьшить температуру воздуха до необходимых значений, что способствует более эффективной и экономичной работе технологического оборудования, а также повышению его срока службы.

Принцип работы вертикальных аппаратов воздушного охлаждения заключается в пропускании воздуха через специально благоустроенные различные камеры, содержащие в себе соответствующие охладители. В зависимости от типа аппарата, может использоваться один или несколько охладителей, которые работают по принципу обмена тепла.

Таким образом, входной воздух поступает в первую камеру, где его охлаждают до определенного уровня, затем он поступает в следующую

					Основные элементы и типы аппаратов воздушного охлаждения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

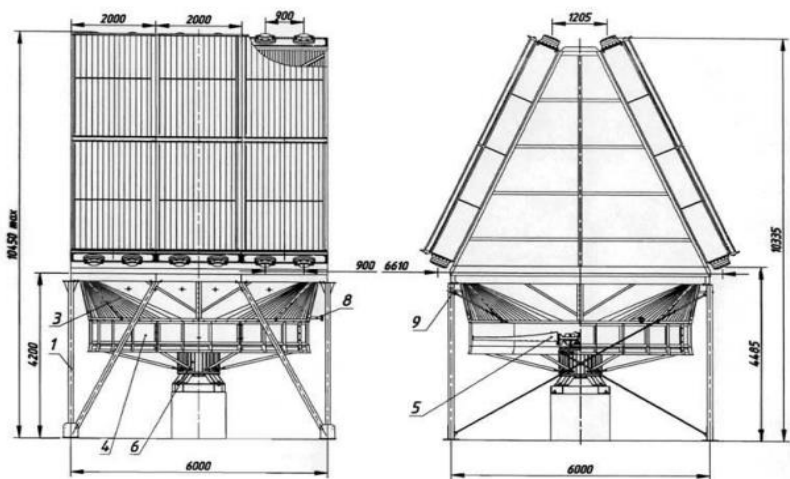
камеру, где охладитель с более низкой температурой дополнительно снижает его температуру. Общий эффект охлаждения достигается за счет последовательного прохода через несколько камер, каждая из которых содержит охладитель, работающий на определенной температуре.

Очевидным преимуществом вертикальных аппаратов воздушного охлаждения является возможность установки их высоко над уровнем моря, что уменьшает риск коррозии и интенсивность загрязнения грязью и пылью. Более того, они могут быть установлены в помещениях, где недостаточно места для горизонтальных аппаратов. Это особенно важно в случаях, когда на компрессорной станции есть ограничение пространства.

Тем не менее, вертикальные аппараты воздушного охлаждения имеют свои минусы. В первую очередь, это высокая стоимость, что часто делает их невыгодными для использования в малых и средних предприятиях. Кроме того, они имеют высокие энергозатраты в связи с использованием множества охладителей.

Аппараты воздушного охлаждения шатровые

Конструкция аппарата воздушного охлаждения шатрового типа АВШ изображена на рисунке 11.



1 – Металлоконструкция, 2 – Секция теплообмена, 3 – Диффузор, 4 – Коллектор вентилятора, 5 – Колесо вентилятора, 6 – Электродвигатель, 7 – Жалюзи, 8 – Увлажнитель воздуха, 9 – Подогреватель воздуха

Рисунок 11 – Аппарат воздушного охлаждения АВШ

					Основные элементы и типы аппаратов воздушного охлаждения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Аппараты шатрового и V-образного типа можно использовать в основном как конденсаторы или одноходовые холодильники. Данный тип аппарата уступает горизонтальному типа АВО, так как горизонтальные наиболее универсальны и их можно использовать как в качестве конденсаторов, так и холодильников, а при необходимости совмещать процесс конденсации и охлаждения в одном аппарате. Основной показатель при выборе аппаратов типа АВШ небольшая занимаемая площадь.

Аппарат воздушного охлаждения шатрового типа состоит из ряда шатровых корпусов, расположенных вертикально и соединенных между собой трубопроводами. Каждый корпус состоит из набора тонких металлических лопастей, установленных на расстоянии друг от друга. Когда газ проходит через шатровый корпус, он сталкивается с лопастями, которые направляют поток газа на спиральный путь, создавая турбулентность внутри корпуса. Это снижает температуру газа путем его охлаждения воздухом.

Шатровые аппараты воздушного охлаждения применяются в различных отраслях промышленности для снижения температуры воздуха в помещениях. Они основаны на использовании компрессорных станций с целью создания продувки воздуха через охладитель, в котором происходит конденсация водяного пара, а затем получение на выходе воздушного потока с пониженной температурой.

Принцип работы шатровых аппаратов заключается в распылении в лабиринте воздухоохлаждителя тончайших капель воды, которые при попадании в поток воздуха испаряются и забирают тепло. Наиболее распространенными материалами для изготовления охладителей являются алюминий и медь. Они отличаются высокой теплопроводностью, что способствует эффективному снижению температуры газа.

Кроме того, аппарат воздушного охлаждения шатрового типа имеет ряд преимуществ перед другими технологиями охлаждения газа, так как он не требует большого количества электроэнергии для своей работы, не требует химических веществ и сравнительно дешев в обслуживании.

					<i>Основные элементы и типы аппаратов воздушного охлаждения</i>	<i>Лист</i>
						38
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		



## 1.5. Обоснование необходимости повышения эффективности АВО

Повышение эффективности аппаратов воздушного охлаждения газа является важной задачей для эффективности работы энергетических установок и снижения экологических рисков.

1. Экономические выгоды: Модернизация аппаратов воздушного охлаждения газа позволяет снизить энергозатраты и увеличить продуктивность. Улучшение технических характеристик систем воздушного охлаждения газа помогает снизить затраты на содержание оборудования и персонала.

2. Повышение надежности работы установок: Эффективность работы аппаратов воздушного охлаждения газа напрямую влияет на надежность работы энергетических установок. Устаревшее или неэффективное оборудование может привести к снижению производительности, возникновению аварий и повреждений на оборудовании, что приведет к дополнительным расходам.

3. Соответствие экологическим нормам и требованиям: Обновление старых систем воздушного охлаждения газа поможет соответствовать современным экологическим требованиям и нормам. В связи с этим, современные системы охлаждения газа могут быть проектированы и изготовлены исходя из параметров, установленных соответствующими экологическими стандартами.

Таким образом, повышение эффективности аппаратов воздушного охлаждения газа является важным условием для повышения экономической эффективности и снижения окружающих рисков при производстве энергии или в других отраслях промышленности.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<b>Обеспечение необходимости охлаждения природного газа после компримирования</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					40	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		



## 2. Характеристика объекта исследования

### 2.1. Общее описание компрессорной станции [REDACTED] магистрального газопровода Сила Сибири.

Компрессорная станция «[REDACTED]» является одним из ключевых узлов магистрального газопровода «Сила Сибири». Район строительства приурочен к территории Якутии, ближайший населенный пункт – пос. Большой Нимныр. Административно объект находится на территории республики Саха (Якутия), в Алданском районе.

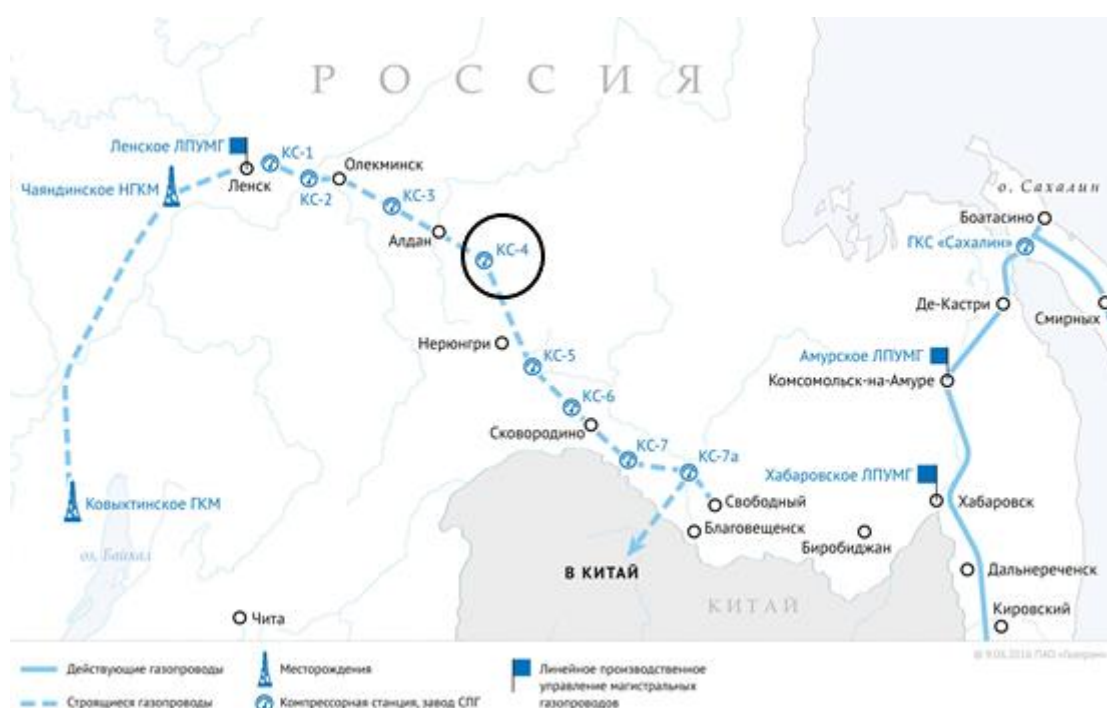


Рисунок 12 – [REDACTED] на карте МГ «Сила Сибири» [18]

В соответствии с технологической схемой Рисунок. А1 (приложение А) включает в себя следующие основные элементы:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода			
Разраб.		Дягилев В.Д.			Характеристика объекта исследования	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н.В.					41	96
Рук-ль ООП		Чухарева Н.В.				Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		

Узел подключения компрессорной станции к магистральному газопроводу - служит для подключения компрессорной станции к магистральному газопроводу посредством входного и выходного газопроводов, обеспечивая тем самым подачу газа в компрессорный цех и подачу газа обратно в газопровод после компримирования.

Узел очистки газа - это устройство, которое предназначено для удаления из природного газа различных примесей.

Компрессорные цеха - представляет собой капитальные здания или отдельные блоки, в которых размещаются газоперекачивающие агрегаты, которые непосредственно осуществляют компримирование природного газа, а также вспомогательное оборудование.

Аппараты воздушного охлаждения - это системы охлаждения, которые используют воздух для снижения температуры газа, который проходит через компрессоры.

Азотная установка - предназначена для получения из атмосферного воздуха газовой смеси с высоким содержанием азота. На выходе из установки получают импульсный и барьерный газ.

Технологическая обвязка нагнетателей ГПА - это система трубопроводов, насосов, клапанов и других устройств, которые обеспечивают передачу и повышение давления газа, питающего нагнетатели газоперекачивающих агрегатов (ГПА) на компрессорной станции магистрального газопровода.

Дожимная компрессорная установка - предназначена для подачи буферного газа требуемого давления в буферную полость сухих газодинамических уплотнений (СГУ) на все режимах работы ГПА.

					Характеристика объекта исследования	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



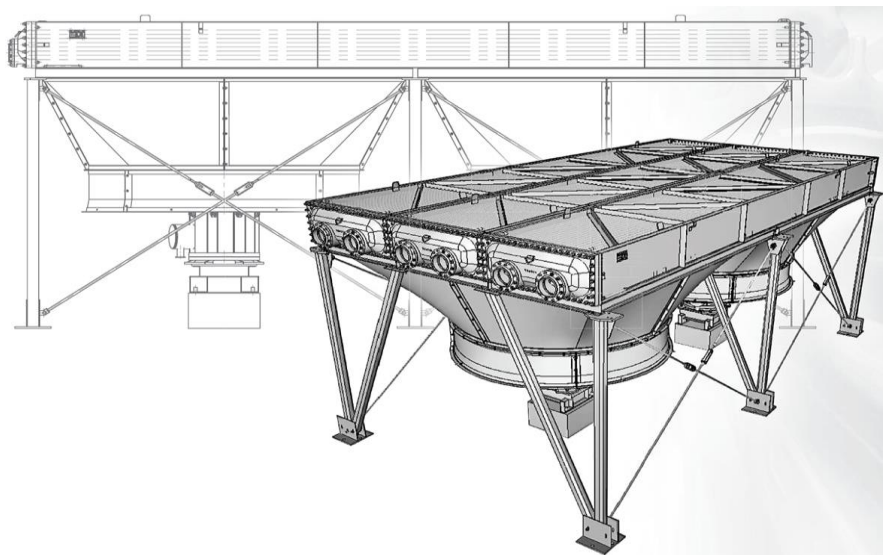


Рисунок 15 – Аппарат воздушного охлаждения 2АВГ-100

В таблице 1 представлены характеристики аппарата воздушного охлаждения газа 2АВГ-100.

Наименование параметра	Значение
Расчетное или условное давление, кгс/см <sup>2</sup>	100
Температура стенки расчетная, °С	До +100
Рабочая среда и ее коррозионные свойства	Природный газ, не коррозионная
Количество теплообменных секций в аппарате	3
Количество рядов труб в секции	6
Поверхность теплообмена аппарата, м <sup>2</sup>	
Наружная	9656
внутренняя	394
Тип приводного электродвигателя	ВАСО 16-14-24
Мощность приводного двигателя	37 кВт
Частота вращения рабочего колеса	250 об/мин
Тип вентилятора	РК25К4-УХЛ1
Количество лопастей вентилятора	4
Диаметр рабочего колеса вентилятора, мм	5000

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

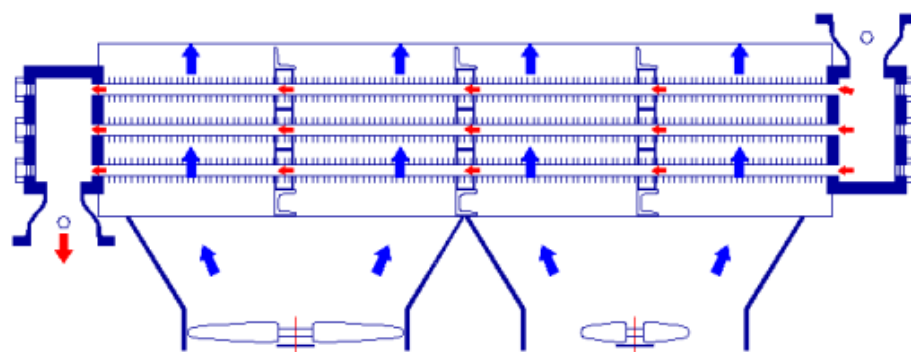


Рисунок 16 – Схема работы аппарата воздушного охлаждения

Принцип работы аппарата воздушного охлаждения газа заключается в том, что газ поступает в теплообменник, где он охлаждается до заданной температуры за счет протекания через биметаллические трубы, наружные поверхности которых охлаждаются воздухом.

При работе аппарата воздушного охлаждения газ проходит через решетчатый блок, который выступает в качестве смесителя. Задача блока смесителя заключается в том, чтобы обеспечить равномерное распределение газа внутри АВО и создать условия для максимального контакта газа с воздухом. Решетчатый блок обычно имеет множество каналов, через которые проходит газ, а наружные поверхности которых находятся под воздействием потока воздуха. Воздушный поток создается с помощью вентиляторов, расположенных внизу или сверху аппарата воздушного охлаждения.

### 3. Технические решения по повышению эффективности АВО

Между 25 и 60 процентов энергии, используемой компрессорной станцией, расходуется на питание вентиляторов системы воздушного охлаждения. Общая мощность электродвигателей в цехе составляет несколько сотен киловатт, что имеет значительный расход в общем энергопотреблении станции.

Системы воздушного охлаждения газа 2АВГ-100 широко распространились и некоторые из них эксплуатируются уже более 30 лет. За это время, прошло множество исследований, разработок и нововведений в конструкции этих аппаратов для повышения их эффективности. Наиболее перспективными направлениями являются:

1) Использование композитных материалов в рабочем колесе аппарата воздушного охлаждения, чтобы достичь более эффективной работы благодаря возможности создавать более сложные аэродинамические формы лопастей. Кроме того, элементы рабочих колес из композитных материалов являются более легкими по сравнению с металлическими.

2) Изменение углов атаки лопастей вентиляторов является одним из способов увеличения эффективности аппарата воздушного охлаждения, благодаря чему можно задавать угол атаки лопастей. Регулировка лопастей вентилятора позволяет сэкономить до 10% электроэнергии.

3) Установка частотно-регулируемых приводов на двигатели, чтобы управлять частотой вращения вентиляторов и обеспечить более гладкое регулирование и точный контроль температуры на выходе из аппарата для воздушного охлаждения газа.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<b>Технические решения по повышению эффективности АВО</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					46	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		

### 3.1. Использование композитных материалов в рабочем колесе аппарата воздушного охлаждения

Одним из ключевых элементов воздухоохладителя является рабочее колесо – устройство, которое создает поток воздуха для охлаждения газа. Колесо представляет собой вращающуюся конструкцию со специальными лопастями, которые имеют определенный угол наклона и форму. Колесо направляет воздушный поток на теплообменный элемент, где происходит охлаждение газа.

Традиционно рабочее колесо изготавливается из металла, обычно из нержавеющей стали. Однако такие конструкции не могут обеспечить необходимую прочность и легкость, а также имеют ограничения по форме и размерам. Поэтому все чаще в последнее время используются композитные материалы для изготовления рабочих колес.

Композитные материалы – это материалы, состоящие из нескольких компонентов, которые обладают различными свойствами и объединены в единую структуру. Они могут быть выполнены из различных материалов: стекловолокна, углеволокна, арамидных волокон, эпоксидных смол и другие. Каждый компонент обладает своими уникальными свойствами, которые могут быть взяты на вооружение при создании специальных элементов.

Композитные материалы обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными металлическими конструкциями. Во-первых, они легкие и прочные: углеволокно, например, прочнее стали при равной массе. Это позволяет создавать большие и сложные конструкции, которые были бы непрактичными или невозможными для металлических материалов. Кроме того, композитные материалы имеют отличные термические и коррозионные свойства, что делает их очень привлекательными для применения в промышленности.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<b>Использование композитных материалов в рабочем колесе аппарата воздушного охлаждения</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					47	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		

В аппаратах воздушного охлаждения композитные материалы используются для изготовления рабочих колес. Они обеспечивают высокую прочность и жесткость, при этом имеют меньшую массу, чем металлические конструкции. Это снижает нагрузку на другие элементы воздухоохладителя и уменьшает расход энергии на вращение рабочего колеса.

Композитные материалы также имеют большую свободу формы и поддаются более точной настройке, что позволяет увеличить эффективность работы воздухоохладителя.

Например, лопасти рабочего колеса из композитных материалов могут быть запрограммированы таким образом, чтобы обеспечить оптимальный поток воздуха для наилучшего охлаждения газа.

Кроме того, композитные рабочие колеса имеют долгий срок эксплуатации и не подвержены коррозии и другим видам износа, которые характерны для металлических конструкций. Они также имеют меньшую степень трения и излучают меньшую тепловую энергию, что способствует повышению эффективности и надежности воздухоохладителя.

В заключение, использование композитных материалов в рабочем колесе аппарата воздушного охлаждения газа на компрессорной станции магистрального газопровода позволяет повысить эффективность работы, снизить расход энергии и повысить надежность оборудования. Данное решение технической задачи, как показывают практические данные, получило свое распространение и будет продолжать развиваться.

### 3.2. Изменение углов атаки лопастей вентиляторов

Главным элементом системы являются вентиляторы, которые обеспечивают циркуляцию воздуха в охладительном блоке. Вентиляторы работают на определенной скорости и с углами атаки лопастей, которые выбираются с учетом ряда факторов.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<i>Изменение углов атаки лопастей вентиляторов</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					48	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		



Первый фактор, который оказывает влияние на выбор угла атаки лопастей, это объем газа, который должен быть охлажден. Чем больше объем газа, тем выше скорость воздуха, необходимая для охлаждения. Если вентиляторы работают слишком медленно, то охлаждение газа будет недостаточным и это приведет к перегреву компрессоров.

Второй фактор, который учитывается при выборе угла атаки лопастей, это температура окружающего воздуха. Чем выше температура окружающего воздуха, тем выше должна быть скорость воздуха, чтобы обеспечить эффективное охлаждение газа.

Третий фактор, который влияет на выбор угла атаки лопастей, это скорость газа, поступающего на компрессоры. Если скорость газа слишком высока, то воздуху необходима более высокая скорость для обеспечения эффективного охлаждения.

Четвертый фактор, который влияет на выбор угла атаки лопастей, это конструкция вентиляторов. Различные модели вентиляторов имеют различные конструкции, включая количество лопастей и их форму. В зависимости от конструкции вентиляторов может потребоваться определенный угол атаки лопастей. Изменение углов атаки лопастей вентиляторов может потребоваться при изменении скорости газа, температуры окружающего воздуха или объема газа, который должен быть охлажден. Также может потребоваться изменение углов атаки лопастей при замене старых моделей вентиляторов новыми.

Важно отметить, что выбор угла атаки лопастей вентиляторов должен осуществляться с учетом всех вышеперечисленных факторов. Неправильный выбор угла атаки лопастей может привести к неэффективному охлаждению газа или даже повреждению компрессоров.

В заключение, изменение углов атаки лопастей вентиляторов аппарата воздушного охлаждения газа на компрессорной станции магистрального газопровода является очень важным процессом. Без правильного выбора углов атаки лопастей невозможно обеспечить эффективное охлаждение газа и защиту компрессоров от перегрева и повреждений.

					<i>Изменение углов атаки лопастей вентиляторов</i>	<i>Лист</i>
						49
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

### 3.3. Установка частотно-регулируемых приводов

В настоящее время существует множество проблем, связанных с эффективным охлаждением газов и использованием энергозатратных устройств на компрессорных станциях магистральных газопроводов. Однако, для решения данной проблемы существует новейшее и наиболее эффективное решение - установка частотно-регулируемого привода в аппарате воздушного охлаждения газа.

Изначально проблема охлаждения газов на компрессорных станциях состояла в необходимости обеспечения оптимальной температуры газа, который поступает в трубопровод. Это необходимо для того, чтобы компрессоры могли создавать необходимое давление и пропускную способность. Однако, обычно на практике возникали проблемы с тем, что оборудование не могло выдерживать перегрев, в результате чего ресурс его эксплуатации резко снижался.

В связи с этим, для решения текущей проблемы было решено воспользоваться новым решением – установкой частотно-регулируемого привода. Он позволяет не только оптимально регулировать температуру газа, но и позволяет увеличить время эксплуатации всего оборудования, повысить эффективность работы и экономию ресурсов в целом.

Принцип работы частотно-регулируемого привода заключается в изменении частоты вращения электродвигателя, что позволяет управлять пропускной способностью компрессоров. Он также может автоматически регулировать скорость и мощность, чтобы соответствовать изменяющейся нагрузке и температуре газа. Этот процесс осуществляется с помощью частотного преобразователя.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<b>Установка частотно-регулируемых приводов</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					50	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		

Он может быть реализован благодаря специальной системе управления, которая регулирует скорость вращения компрессора. Таким образом, удастся снизить потребление электроэнергии, а также существенно сократить затраты на расходующиеся материалы. Частотно-регулируемый привод отличается от обычного привода, который обычно используется в компрессорных станциях, тем, что он способен регулировать скорость вращения компрессора.

Подводя итог, установка частотно-регулируемого привода в аппарате воздушного охлаждения газа – это мощнейший инструмент для повышения производительности и энергосбережения, соответствующий требованиям и нормам безопасности и стабильности работы в условиях качества. Это надежное и действительно эффективное решение, которое может стать отличной основой для успешной работы компрессорной станции магистрального газопровода.

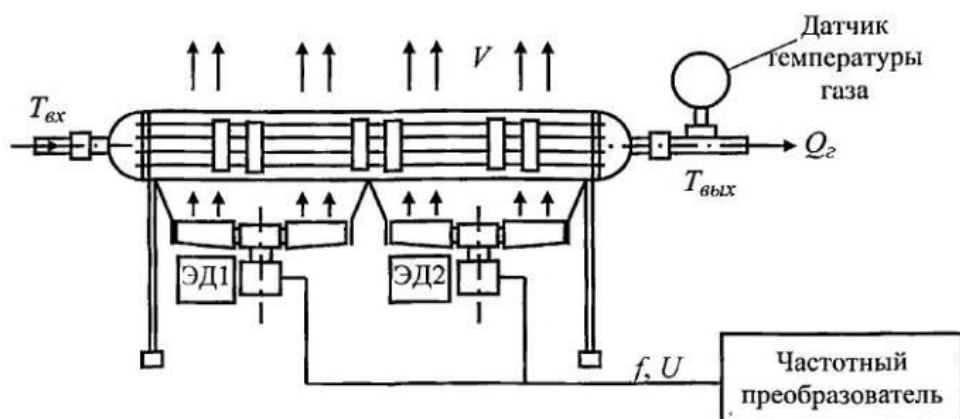


Рисунок 17 – Принцип применения частотного преобразователя на АВО газа

## 4. Расчетная часть

### 4.1 Тепловой расчет АВО

Исходные данные теплового расчета АВО приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Исходные данные теплового расчета АВО

Название характеристики	Единицы измерения	Значение
Массовый расход $M_1$	кг/с	120
Температура газа на входе в АВО $t_1$	°С	35
Давление газа $P_1$	МПа	9,81
Температура воздуха на входе в аппарат $\tau_1$	°С	-5
Расход воздуха (производительность вентилятора)	м <sup>3</sup> /с	45
Коэффициент оребрения $\phi$	-	20
Диаметр оребрения $D_{op}$	мм	57
Наружный диаметр трубок $d_n$	мм	27
Внутренний диаметр трубок $d_{вн}$	мм	21
Высота ребра $h$	мм	15
Толщина ребра $\delta$	мм	0,85
Шаг ребер $t$	мм	2,5
Теплопроводность ребер $\lambda$	Вт / (м·К)	156

Для расчета АВО был принят аппарат воздушного охлаждения горизонтального типа АВГ. В нем: число секций – 3 шт., в каждой секции 6 рядов труб длиной 12 м, которые образуют один ход со стороны газа. Поверхность теплообмена  $N_{сек} = 394 \text{ м}^2$ ;  $N_{ап} = 9656 \text{ м}^2$ . Число вентиляторов на один аппарат – 2 шт.

Задача теплового расчета: определить поверхность охлаждения АВО и сравнить её с фактической.

Тепловой расчет сводится к совместному решению уравнения теплового баланса и уравнения теплопередачи [13]:

$$Q = W_1 \cdot \Delta t \cdot \eta = W_2 \cdot \Delta \tau = k \cdot N \cdot \Delta t_{cp}^{лог},$$

где  $W_1, W_2$  – соответственно водяные эквиваленты горячего и холодного теплоносителей, кДж/с ( $W_1 = M_1 \cdot C_{P1}^{cp}$ ,  $W_2 = M_2 \cdot C_{P2}^{cp}$ );

					Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Дягилев В.Д.			Тепловой расчет АВО	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н.В.					52	96
Рук-ль ООП		Чухарева Н.В.				Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		

$C_{P1}^{cp}, C_{P2}^{cp}$  – удельные теплоемкости горячего и холодного теплоносителей, кДж/(кг·К);

$\Delta t, \Delta \tau$  – разности температур горячего и холодного теплоносителей, °С  
( $\Delta t = t_1 - t_2, (\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1)$ );

$t_1, \tau_1$  – начальные температуры горячего и холодного теплоносителей, °С;

$t_2, \tau_2$  – конечные температуры горячего и холодного теплоносителей, °С;

$\eta$  – коэффициент полезного действия теплообменного аппарата (как правило, в расчетах принимается равным единице);

КН – водяной эквивалент поверхности теплообмена, кВт/°С;

К – коэффициент теплопередачи, кВт/(м<sup>2</sup> · °С);

Н – поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{cp}^{лог}$  – средняя разность температур процесса теплопередачи, °С.

В случае природного газа, за который принимаем метан принимаем следующие коэффициенты [13]:

1) при  $P_1 = 9,81$  МПа,  $T_{газ}^{cp} = 303$  К;

2) теплофизические характеристики соответственно равны:

$C_{P1}^{cp} = 2,5$  кДж/(кг · К);

$\nu_{газ} = 13,95 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;

$\lambda_{газ} = 39,2 \cdot 10^{-3}$  Вт/(м · К);

$\rho_{газ} = 38$  кг/м<sup>3</sup>;

3) в случае воздуха:

$T_{возд}^{cp} = 276,7$  К;

$C_{P2}^{cp} = 1,009$  кДж/(кг · К);

$\nu_{возд} = 12,43 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;

$\lambda_{возд} = 2,5 \cdot 10^{-3}$  Вт/(м · К);

$\rho_{возд} = 1,324$  кг/м<sup>3</sup>;

					Тепловой расчет АВО	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

$$Pr = 0,712.$$

Коэффициент теплопроводности определяется по значению коэффициента Прандтля:

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{\lambda} = \lambda = \frac{\mu \cdot C_p}{P_2} = \frac{p \cdot V \cdot C_p}{P_2}$$

На основании данных работающих АВО и справочных рекомендаций охлажденный газ на выходе должен превышать температуру воздуха на выходе на 10-15°C. Согласно этого принимаем  $t_2 = 15^\circ\text{C}$  (температура газа, выходящего из АВО).

### Решение:

1) расчет теплового потока, который передаётся от метана в аппарат воздушного охлаждения в соответствии с уравнением:

$$Q = M_1 \cdot C_{P1}^{\text{cp}} \cdot (t_1 - t_2) \cdot \eta = \text{[redacted]};$$

2) расчет температуры воздуха, которая выходит из аппарата, по данному уравнению:

$$t_2 = t_1 + \frac{M_1 \cdot C_{P1}^{\text{cp}} \cdot (t_1 - t_2)}{M_2 \cdot C_{P2}^{\text{cp}}} = \text{[redacted]};$$

3) средняя температура метана:

$$t_{\text{газ}}^{\text{cp}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \text{[redacted]};$$

4) средняя температура воздуха [13]:

$$t_{\text{возд}}^{\text{cp}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \text{[redacted]};$$

5) средняя скорость метана в аппарате воздушного охлаждения:

$$\omega_{\text{газ}} = \frac{M_1}{\rho_{\text{газ}} \cdot F_{\text{п.с.}}} = \text{[redacted]};$$

6) критерий Рейнольдса в ходе движения метана [13]:

$$Re_{\text{газ}} = \frac{\omega_{\text{газ}} \cdot d_{\text{вн}}}{\nu_{\text{газ}}} = \text{[redacted]}$$

так как  $Re_{\text{газ}} > 10^4$ , то средний по длине трубок коэффициент теплоотдачи рассчитывается исходя из уравнения подобия.

8) коэффициент теплоотдачи со стороны метана:

$$\alpha_{\text{газ}}^{\text{ср}} = \frac{Nu^{\text{газ}} \cdot \lambda_{\text{газ}}^{\text{ср}}}{d_{\text{вн}}} = \text{[redacted]};$$

9) скорость воздуха в узком сечении секции аппарата:

$$\omega_{\text{возд}} = \frac{A \cdot V \cdot k_{\text{ж}}}{\rho_{\text{возд}}},$$

где  $A = 0,105$  – коэффициент, который зависит от типа АВО и коэффициента оребрения трубок;

$V$  – объёмный расход воздуха на аппарате,  $\text{м}^3/\text{ч}$  (переведено из  $\text{м}^3/\text{с}$  и умножено на количество вентиляторов);

$k_{\text{ж}} = 0,94$  – коэффициент, который учитывает влияние жалюзи.

Тогда

$$\omega_{\text{возд}} = \text{[redacted]};$$

10) критерий Рейнольдса при движении воздуха:

$$Re_{\text{возд}} = \frac{\omega_{\text{возд}} \cdot d_{\text{н}}}{\nu_{\text{возд}}} = \text{[redacted]};$$

11) критерий Нуссельта для воздуха [13]:

$$Nu^{\text{возд}} = 0,223 \cdot Re_{\text{возд}}^{0,65} \cdot \left(\frac{d_{\text{н}}}{b}\right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h_{\text{р}}}{b}\right)^{-0,14},$$

где  $d_{\text{н}} = 0,027$  – наружный диаметр трубок, м;

$h_{\text{р}} = 0,015$  – высота ребра, м;

$b = 0,0025$  – шаг ребер, м.

Тогда

$$Nu^{\text{возд}} = \text{[redacted]};$$

					Тепловой расчет АВО	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

12) коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха:

$$\alpha_{\text{возд}}^{\text{ср}} = \frac{Nu^{\text{возд}} \cdot \lambda_{\text{возд}}^{\text{ср}}}{d_{\text{н}}} = \text{[ ]} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

13) средняя разность температур теплоносителя рассчитывается в соответствии с методикой Н.И. Белокопя по формуле:

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}},$$

где  $\theta_1$  и  $\theta_2$  – наибольшая и наименьшая разности температур соответственно, определявшиеся в соответствии с уравнениями:

$$\theta_1 = \theta_{\text{ср}}^{\text{ап}} + 0,5 \cdot \Delta T;$$

$$\theta_2 = \theta_{\text{ср}}^{\text{ап}} - 0,5 \cdot \Delta T;$$

где  $\theta_{\text{ср}}^{\text{ап}}$  – среднеарифметическая разность температур:

$$\theta_{\text{ср}}^{\text{ап}} = 0,5 \cdot (t_1 + t_2) - 0,5 \cdot (\tau_1 + \tau_2) = \text{[ ]};$$

$\Delta T$  – характеристическая разность температур:

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta t + \Delta \tau)^2 - 4 \cdot P \cdot \Delta t \cdot \Delta \tau},$$

где  $P = 0,5821$  – индекс противоточности схемы теплообменного аппарата, который был принят при числе пересечения  $n = 1$  и отношения

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{M_1 \cdot C_{P1}^{\text{ср}}}{M_2 \cdot C_{P2}^{\text{ср}}} = \frac{M_1 \cdot C_{P1}^{\text{ср}}}{V \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot C_{P2}^{\text{ср}}} = \text{[ ]},$$

следовательно,

$$\Delta T = \text{[ ]} \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\theta_1 = \text{[ ]} \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\theta_2 = \text{[ ]} \text{ } ^\circ\text{C};$$

					Тепловой расчет АВО	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$$\theta_m = \blacksquare \text{ } ^\circ\text{C}$$

14) Коэффициент эффективности ребра:

$$E = \frac{\text{th}\left(\frac{l}{\delta} \cdot \sqrt{2 \cdot Bi}\right)}{\frac{l}{\delta} \cdot \sqrt{2 \cdot Bi}},$$

где  $\frac{\text{th}\left(\frac{l}{\delta} \cdot \sqrt{2 \cdot Bi}\right)}{\frac{l}{\delta} \cdot \sqrt{2 \cdot Bi}}$  – гиперболический тангенс;

$l = 0,015$  – высота ребра, м;

$\delta = 0,00085$  – толщина ребра, м;

$Bi$  – Критерий Био, важная характеристика процесса теплообмена на границе твердая поверхность – окружающая среда. Является отношением внутреннего термического сопротивления теплопроводности  $\delta / \lambda$  к внешнему термическому сопротивлению теплоотдачи ( $1/\alpha_{\text{возд}}^{\text{ср}}$ ):

$$Bi = \frac{\alpha_{\text{возд}}^{\text{ср}} \cdot \delta}{\lambda}$$

Тогда

$$E = \blacksquare$$

15) расчет приведенного коэффициента теплоотдачи от ребристой поверхности к воздуху, которая отнесена к внешней поверхности нагрева и учитывает неравномерность теплообмена по поверхности ребра, производился по соответствующему уравнению:

$$\alpha_{2\text{пр}} = \alpha_{\text{возд}}^{\text{ср}} \cdot \left( E \cdot \frac{H_p}{H_{p.c}} + \frac{H_c}{H_{p.c}} \right) = \blacksquare$$

					Тепловой расчет АВО	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

16) Коэффициент теплопередачи для чистой ребристой трубки, которая отнесена к ребристой поверхности, посчитан по уравнению:

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{газ}}} + \frac{\delta_c}{\lambda}\right) \cdot \varphi + \frac{1}{\alpha_{2\text{пр}}}} = \blacksquare$$

17) Определение требуемой (расчетной) поверхности теплообмена аппарата [13]:

$$H_p = \frac{Q}{k \cdot \theta_m} = \blacksquare$$

Фактическая поверхность теплообмена у существующего аппарата составляет  $\blacksquare$  м<sup>2</sup>, расхождение расчетного значения с фактическим составляет  $\blacksquare$  %.

#### 4.2. Гидравлический расчет теплообменного аппарата.

Линейное сопротивление или сопротивление трения  $\Delta P_{\text{тр}}$  определяют по формуле Дарси[13]:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \frac{l \omega^2 \rho}{d \cdot 2}$$

Где  $\lambda_{\text{тр}}$  – коэффициент сопротивления трения по длине трубы:

$l$  – длина трубы;

$d$  – внутренний диаметр трубы, м;

$\omega$  – скорость движения теплоносителя;

$\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент сопротивления  $\lambda_{\text{тр}}$  - для турбулентного режима движения газа при  $Re = 10^4 \div 10^5$  определяется из уравнения Блазиуса:

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<b>Гидравлический расчет теплообменного аппарата</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					58	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		

$$\lambda_{\text{ТР}} = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$$

$$\lambda_{\text{ТР}} = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \blacksquare$$

Определяются гидравлические потери на трение в трубах из уравнения:

$$\Delta P_{\text{ТР}} = \lambda_{\text{ТР}} \frac{l}{d} \frac{\omega^2 \rho}{2}$$

$$\Delta P_{\text{ТР}} = \lambda_{\text{ТР}} \frac{l}{d} \frac{\omega^2 \rho}{2} = \blacksquare$$

Потери напора в местных сопротивлениях определяются из уравнения:

$$\Delta P_{\text{М}} = \sum_1^n \xi \frac{\omega^2 \rho}{2}$$

Где  $\sum_1^n \xi$  - сумма коэффициентов местных сопротивлений складывается из:

$\xi_{\text{рас.}} = \blacksquare$  – вход в секции АВО;

$\xi_{\text{ТР}}^{\text{ВХ}} = \blacksquare$  – вход в трубки;

$\xi_{\text{ТР}}^{\text{ВЫ}} = \blacksquare$  – выход из трубок;

$\xi_{\text{суж}} = \blacksquare$  – выход из секций АВО;

$\xi_{\text{КР.}} = \blacksquare$  – шаровой кран –  $\blacksquare$  шт. на входе и выходе из АВО;

					Гидравлический расчет теплообменного аппарата	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sum_1^n \xi = \blacksquare$$

$$\Delta P_M = \sum_1^n \xi \frac{\omega^2 \rho}{2} = \blacksquare$$

Полная потеря напора в АВО со стороны газа:

$$\Delta P = \Delta P_{TP} + \Delta P_M$$

$$\Delta P = \Delta P_{TP} + \Delta P_M = \blacksquare$$

Давление газа на входе в АВО:

$$P_1 = \blacksquare$$

В АВО полная потеря давления из расчета составляет:

$$\Delta P = \blacksquare, \Delta P \approx \blacksquare$$

Таким образом, на выходе из АВО давление газа будет:  $P_2 = \blacksquare$

### 4.3 Расчет внедрения частотно-регулируемого привода

Установка частотно-регулируемого привода может привести к существенному снижению потребления электроэнергии на охлаждение. Изучение, проведенное Алимовым С.В. [1], показало, что скорость воздушного потока через аппарат воздушного охлаждения и соответствующий расход воздуха линейно зависят от частоты вращения электродвигателя.

$$V \sim Q \sim n$$

Где  $V$  – скорость воздушного потока;

$Q$  – расход воздуха через АВО;

$n$  – частота вращения электродвигателя.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<b>Расчет внедрения частотно-регулируемого привода</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					60	96
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		

Для определения рентабельности установки частотно регулируемого привода произведем расчет срока окупаемости воспользовавшись формулой [16]:

$$T_o = \frac{C_{чрп}}{C_{эл} \cdot \lambda}$$

где:

$T_o$  – срок окупаемости;

$C_{чрп}$  – цена частотно-регулируемого привода;

$C_{эл}$  – цена сэкономленной электроэнергии;

$\lambda$  – коэффициент по параметрам факторов;

$\lambda = 1,4$

Расчет электродвигателя типа ВАСО 16-14-24. Мощность данного двигателя составляет ■■■ кВт, номинальное напряжение ■■■ кВ, номинальный ток ■■■ А. Учитывая суточную эксплуатацию двигателя в месяц наработка электродвигателя составляет ■■■ часов. Зная имеющийся интервал загруженности, среднюю экономию электрической энергии примем ■■■ %.

Подсчитаем экономию электроэнергии в среднем за месяц по формуле [16]:

$$B = T_{ч} \cdot P_{дв} \cdot \text{■■■}\%$$

где:

$T_{ч}$  – отработанное количество часов за месяц;

$P_{дв}$  – мощность электрического двигателя;

■■■% – средняя экономия электрической энергии

$$B = \text{■■■■■■■■■■}$$

Зная среднюю стоимость электрической энергии, подсчитаем ежемесячную экономию электрической энергии [16]:

$$C_{эл} = B \cdot 5,11 \text{ руб.}$$

$$C_{эл} = \text{■■■■■■■■■■}$$

Рассчитаем срок окупаемости частотно-регулируемого привода, зная, что стоимость частотного преобразователя и его монтаж для электродвигателя мощностью ■ кВт составляет ■.

$$T_o = \blacksquare$$

1. Срок окупаемости частотно-регулируемого привода ■ месяца.
2. Экономия электроэнергии в месяц ■ кВт·ч.
3. Сэкономленные денежные средства ■ руб.

Таблица 3 - Стоимость сэкономленных денежных средств и электроэнергии в год.

Применяемый способ	Частотно-регулируемый привод
Сэкономленные денежные средства, руб./год	■
Экономия электроэнергии, кВт·ч/год	■

С экономической точки зрения установка частотно-регулируемого привода целесообразна.

## 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсообеспечение

Раздел финансового менеджмента необходим для оценки затрат на проведение мероприятий по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения, а также для определения потенциальной экономической выгоды от их реализации. Ресурсоэффективность должна быть учтена для определения оптимальных способов использования ресурсов и снижения затрат на энергоносители, материалы и трудовые ресурсы. Раздел ресурсообеспечения должен учитывать наличие ресурсов для реализации мероприятий, а также необходимость их закупки или организации собственного производства. Все эти аспекты помогут определить стратегию повышения безопасности и надежности газоперекачивающего агрегата с минимальными финансовыми и ресурсными затратами.

### 5.1. Анализ экономической эффективности. SWOT – анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. Его применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>		
Разраб.		Дягилев В.Д.			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Чухарева Н.В.				63	96
Рук-ль ООП		Чухарева Н.В.			Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		

Таблица 4 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-технологического решения:</b>                  С1. Повышения надежности поставок газа;                  С2. Экономическая эффективность;                  С3. Повышение степени охлаждения газа;                  С4. Увеличение срока эксплуатации оборудования;                  С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p><b>Слабые стороны технологического решения:</b>                  Сл1. Дорогостоящее оборудование;                  Сл2. Проблемы безопасности внедрения новых методов;                  Сл3. Необходимость внедрения более дорогостоящего оборудования;                  Сл4. Необходимость опытных и высококлассных специалистов.                  Сл5. Высокая стоимость модернизации</p>
<p><b>Возможности:</b>                  В1. Бесперебойная поставка газа потребителю;                  В2. Повышение качества компримированного газа за счет большей степени охлаждения;                  В3. Уменьшение экологической угрозы;                  В4. Увеличение безопасной эксплуатации объектов транспорта газа                  В5. Повышение стоимости конкурентных исследований.</p>		
<p><b>Угрозы:</b>                  У1. Использование импортных комплектующих;                  У2. Развитая конкуренция на рынке.</p>		

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа. Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Интерактивная матрица проекта представлена в таблицах 4.2 - 4.5.



Таблица 5 - Интерактивная матрица возможностей и сильных стороны исследования

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	-	-	+
	B2	0	+	-	-	-
	B3	-	-	-	+	+
	B4	+	-	-	-	+
	B5	-	0	-	-	-

Таблица 6 - Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон исследования

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	+	0	+	-	-
	B4	-	-	+	-	-
	B5	-	-	+	-	+

Таблица 7 - Интерактивная матрица угроз и сильных сторон исследования

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	+
	У2	-	+	+	-	+
	У3	-	+	-	-	-
	У4	-	+	-	0	+

Таблица 8 - Интерактивная матрица угроз и слабых сторон исследования

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	+	0	+
	У2	-	+	+	-	+
	У3	+	+	-	-	-
	У4	+	+	-	0	+

Таблица 9 – Итоговый SWOT анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-технологического решения:</b>                      С1. Повышения надежности поставок газа; С2. Экономическая эффективность;                      С3. Повышение степени охлаждения газа;                      С4. Увеличение срока эксплуатации оборудования;                      С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p><b>Слабые стороны технологического решения:</b>                      Сл1. Дорогостоящее оборудование;                      Сл2. Проблемы безопасности внедрения новых методов;                      Сл3. Необходимость внедрения более дорогостоящего оборудования;                      Сл4. Необходимость опытных и высококлассных специалистов.                      Сл5. Высокая стоимость модернизации</p>
<p><b>Возможности:</b>                      В1. Бесперебойная поставка газа потребителю;                      В2. Повышение качества компримированного газа за счет большей степени охлаждения;                      В3. Уменьшение экологической угрозы;                      В4. Увеличение безопасной эксплуатации объектов транспорта газа</p>	<p>– Чем выше бесперебойность, тем больше поставки газа конечному потребителю</p> <p>– Увеличение срока эксплуатации компонентов АВО приводит к повышению экономической эффективности эксплуатации и ведёт к снижению затрат на ремонт компонентов</p>	<p>– Найм на работу квалифицированного персонала;                      – Повышение квалификации кадров.</p>

В5. Повышение стоимости конкурентных исследований.	– Повышение безопасной работы объекта приводит к снижению рисков для обслуживающего персонала	
<b>Угрозы:</b> У1. Использование импортных комплектующих; У2. Развитая конкуренция на рынке.	– Отсутствие спроса на новые технологии Качество отечественных комплектующих может быть на порядок ниже.	В дальнейшем использование импортных комплектующих может потребовать большее финансирование проекта.

## 5.2. Планирование научно–исследовательской работы

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор темы исследования	1	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
	2	Постановка цели и задач исследования	Руководитель, бакалавр
	3	Литературный обзор	Бакалавр
Разработка технического задания	4	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретического анализа существующих технических решений	Бакалавр
	6	Исполнение теоретических расчетов и выводы по ним	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка результатов исследования	Руководитель, Бакалавр
Оформление отчета по исследовательской работе	8	Составление пояснительной записки	Руководитель, Бакалавр

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Так как в данном случае потребители относятся к коммерческой категории, то критерием сегментирования является размер предприятия и метод проведения врезки отвода.

### Определение трудоемкости выполняемых работ

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{min_i} - 2 \cdot t_{max_i}}{5};$$

Где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{min}$  – минимальная возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предложении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), человеко-дни;

$t_{max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предложении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), человеко-дни.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i};$$

Где  $T_{pi}$  – продолжительность  $i$ -ой работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

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

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсообеспечение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

### 5.3. Разработка графика проведения научного исследования

Для расчета длительности работ в календарных днях, используется формула:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал};$$

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

$T_{pi}$  – продолжительность  $i$ -ой работы, раб. дней;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

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

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

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

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

В 2023 году –  $T_{кал} = 365$  дней,  $T_{вых} = 104$  дней,  $T_{пр} = 14$  дней.

Подставим численные значения в формулу:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48;$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе, округляют до целого числа и заносят в таблицу.

Таблица 11 – Временные показатели проведения научной разработки

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$ , человек а дни	$t_{max}$ , человек а дни	$t_{ож}$ , человек а дни			
Календарное планирование работ по теме	3	4	3,4	Руководитель, бакалавр	2	3
Постановка цели и задач исследования	6	8	6,8	Руководитель, бакалавр	3	4
Литературный обзор	7	15	10,2	Бакалавр	10	15

Составление и утверждение технического задания	3	4	3,4	Руководитель	3	4
Проведение теоретического анализа существующих технических решений	15	20	17	Бакалавр	17	25
Исполнение теоретических расчетов и выводы по ним	6	11	8	Бакалавр	8	12
Оценка результатов исследования	2	5	3,2	Руководитель, Бакалавр	2	3
Составление пояснительной записки	5	13	8,2	Руководитель, Бакалавр	4	6

Таблица 12 – Календарный план график проведения НИР по теме

№	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дни	Продолжительность выполнения работ									
				Фев.	Март	Апрель	Май						
1	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр	3	■									
2	Постановка цели и задач исследования	Руководитель, бакалавр	4	■									
3	Литературный обзор	Бакалавр	15		■								
4	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4			■							
5	Проведение теоретического анализа существующих технических решений	Бакалавр	25				■						
6	Исполнение теоретических расчетов и выводы по ним	Бакалавр	12						■				
7	Оценка результатов исследования	Руководитель, Бакалавр	3									■	

8	Составление пояснительной записки	Руководитель, Бакалавр	6														
---	-----------------------------------	------------------------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



- Руководитель



- Бакалавр

#### 5.4. Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат НТР включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_M) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i};$$

где  $k_M$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;

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

$C_i$  – цена приобретения  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования, руб.;

$N_{расх\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>5</sup> и т. д.).

Таблица 13 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, З <sup>м</sup> , руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Программы Microsoft Office	шт.	7	4	2	150	150	150	1050	6000	3000
Бумага для принтера	шт.	600	300	400	0,5	0,5	0,5	300	150	200
Электрoэнергия	кВт/ч	350	200	280	4,5	4,5	4,5	1575	900	1260
Итого:								1237	7050	4460
								5		

## Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Сюда включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (программного обеспечения), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 14 – Расчет затрат на оборудование

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, З <sup>м</sup> , руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Компьютер	шт.	1	1	1	60000	25000	35000	60000	25000	35000
Принтер	шт.	1	1	1	10000	5000	8000	10000	5000	8000
Доступ в закрытые источники информации	шт.	1	1	1	500	500	500	500	500	500
Итого:								70500	30500	43500

### Основная заработная плата исполнителей работы

Расчет заработной платы произведен на основе тарифных ставок предприятия, которое занимается проектирование автоматизированных систем управления. Расчет осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p;$$

Где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.;

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником в рабочие дни.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: приотпуске

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсообеспечение	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



в 24 раб. дней  $M=11,2$  месяцев, 5 – дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала в рабочие дни.

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле:

$$Z_M = Z_{mc} \cdot (k_p + k_{np} + k_d) + Z_{mc};$$

где  $Z_{tc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент ( $k_{np} = 0,3$ , т. е. 30% от  $Z_{tc}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок ( $k_d = 0,2$ , т. е. 20% от  $Z_{tc}$ );

$k_p$  – районный коэффициент (для Томска  $k_p = 0,3$ , т. е. 30%).

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{tc}$ , руб.	$k_{np}$ , %	$k_d$ , %	$k_p$ , %	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель проекта	41800	30	20	30	75240	9363	10,17	86609
Студент	1540	30	20	30	2772	345	30,25	9486
Итого, $Z_{осн}$ :								96095

#### Дополнительная заработная плата исполнителей работы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{дон} = k_{дон} \cdot Z_{осн};$$

где  $k_{дон}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, на стадии проектирования принимают равным 0,15.

Таблица 16 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{доп}$	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	0,15	86609	12991
Студент	0,15	9486	1422
Итого:		96095	14413

### Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органами государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

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

где  $k_{внеб}$  - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, принимается равным  $k_{внеб} = 30\%$ .

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	86609	12991
Студент	9486	1422
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%	
Итого:	33152	

### Накладные расходы

В статью накладных расходов входят прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов: оплата электроэнергии, печать и ксерокопирование, почтовые расходы и т.д.

Накладные расходы определяются по формуле:

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсообеспечение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

где  $k_{нр}$  - коэффициент, учитывающий накладные расходы, принимается равным  $k_{нр} = 16\%$ .

$$Z_{накл1} = (12370 + 70500 + 96095 + 14413 + 33152) \cdot 0,16 = 36244 \text{ руб.};$$

$$Z_{накл2} = (7050 + 30500 + 96095 + 14413 + 33152) \cdot 0,16 = 28993 \text{ руб.};$$

$$Z_{накл3} = (4460 + 43500 + 96095 + 14413 + 33152) \cdot 0,16 = 30659 \text{ руб.};$$

### Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Материальные затраты НИИ	12370	7050	4460
2. Затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	70500	30500	43500
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	96095		
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	14413		
5. Отчисления во внебюджетные фонды	33152		
6. Накладные расходы	31996	26808	29275
7. Бюджет затрат НИИ	258526	208018	220895

### 5.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают входе оценки бюджета затрат вариантов исполнения научного исследования.

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

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

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{258526}{258526} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{208018}{258526} = 0,8$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{220895}{258526} = 0,85$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки

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

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем

повыбранной шкале оценивания.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсообеспечение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии и область исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Способствует росту производительности	0,1	3	5	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	2	3	2
3. Помехоустойчивость	0,15	2	4	2
4. Энергосбережение	0,20	3	3	4
5. Надежность	0,25	5	5	4
6. Материалоемкость	0,15	4	3	2
Итого	1	3,2	3,9	2,8

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}} = \frac{3,2}{1} = 3,2$$

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}} = \frac{3,9}{0,8} = 4,87$$

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}} = \frac{2,8}{0,85} = 3,3$$

Из расчетов видно, что наиболее целесообразный вариант проекта разработки НТИ произведен во втором исполнении

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{срi}$ ):

$$\mathcal{E}_{cpi} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}};$$

Таблица 20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,8	0,85
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,2	3,9	3,3
3	Интегральный показатель эффективности	3,2	4,87	3,3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,66	1,46	0,86

Исходя из полученных данных, наиболее эффективным оказалась разработка под исполнением №2.

**Вывод:** в результате проведения исследования по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были проанализированы различные варианты исполнения научно-исследовательского проекта, бюджет наиболее выгодного исполнения с точки зрения финансовой эффективности и ресурсоэффективности составил 2 вариант исполнения.

## 6. Социальная ответственность

Основной целью раздела является рассмотрение оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышения его производительности, сохранения работоспособности в процессе деятельности.

Разработаны требования безопасности и комплекс защитных мероприятий на рабочем месте. Также этот раздел включает подразделы охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

В качестве персонала рассматривается машинист технологических компрессоров. Рабочим местом машиниста является машинный зал. Работа выполняет в основном стоя. Следит за показаниями приборов на пульте управления, осуществляет контроль за технологическим процессом, поддерживает в рабочем состоянии компрессорную установку. Регламентированные перерывы – 3% от рабочего времени.

В обязанности машиниста входит участие в подготовительных работах к пуску компрессорной установки, принятие первоначальных мер по ликвидации аварий и пожаров, проверка состояния отдельных механизмов и компрессорной установки в целом, закачка смазочных масел в двигатель и компрессор, поддержание компрессорной установки в чистоте.

Так же он должен знать правила эксплуатации и ремонта грузоподъемного оборудования и механизмов. Правила эксплуатации и ремонта сосудов, работающих под давлением. Правила безопасности при эксплуатации и ремонте нефтепромыслового оборудования.

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, действующие на машиниста технологических компрессоров на рабочем месте.

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					<i>Листов</i>
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>					79
							96
					<i>Социальная ответственность</i>		
					<i>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</i>		

## **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Правила безопасного ведения работ регламентируются ПБ 12-368-00 "Правила безопасности в газовом хозяйстве", который разработан в соответствии с "Положением о Федеральном горном и промышленном надзоре России" и учитывают требования Федерального закона "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.97 N 116-ФЗ, а также других действующих нормативных документов.

Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке.

К выполнению работ допускаются руководители, специалисты и рабочие, обученные и сдавшие экзамены на знание правил безопасности и техники безопасности, умеющие пользоваться средствами индивидуальной защиты и знающие способы оказания первой (доврачебной) помощи.

Первичное обучение рабочих безопасным методам и приемам труда; руководителей и специалистов, лиц, ответственных за безопасную эксплуатацию газового хозяйства и ведение технического надзора, а также лиц, допускаемых к выполнению газоопасных работ, должно проводиться в организациях (учебных центрах), имеющих соответствующую лицензию.

Основным органом государственного надзора и контроля за состоянием охраны труда является Федеральная служба по труду и занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда субъектов Российской Федерации.

					Социальная ответственность	Лист
						80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



## 6.2 Организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны

На рабочих местах, а также во всех местах опасного производственного объекта, где возможно воздействие на человека вредных и (или) опасных производственных факторов, должны быть предупредительные знаки и надписи.

При компоновке рабочей зоны выполняются следующие организационные мероприятия и ряд действий:

- составить схему отключённого участка с указанием положения отсечных и свечных кранов;
- проверить у исполнителей наличие и исправность средств индивидуальной защиты (спецодежда (термостойкие костюмы), спецобувь, выполненных из материалов, исключающих возникновение статического электричества, искрообразование, защитная каска);
- обозначить границы опасной зоны плакатами «Внимание – газоопасные работы», «Проход воспрещён», установить ограждение;
- подготовить и проверить наличие и исправность средств связи во взрывозащищённом исполнении. Обеспечить радиотелефонную связь со сменным инженером КС;
- удалить вредные и взрывоопасные продукты из рабочей зоны;
- проверить исправность манометров, установленных на ремонтной секции АВО газа; подготовить свободные подходы и подъезды к месту работы;
- закрыть входные и выходные краны на секциях АВО газа в зоне газоопасных работ. Вывесить плакаты «Не открывать» (номера кранов указать в наряде-допуске в соответствии с номером ремонтной секции);
- открыть свечные краны. Газ стравить до атмосферного. Вывесить плакаты: «Не закрывать» (номера кранов указать в наряде-допуске в соответствии с номером ремонтной секции);
- снять штурвалы (рукоятки) с приводов входных, выходных, свечных кранов ремонтных секций АВО газа и убрать их в специально

					Социальная ответственность	Лист
						81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

отведённое место. В случае отсутствия возможности снять штурвалы и рукоятки из-за конструктивных особенностей – зафиксировать и установить блок замки, исключающие возможность ошибочной перестановки;

- проверить близлежащее газовое оборудование на отсутствие утечек газа;
  - отключить соседние вентиляторы;
  - выполнить все необходимые организационно-технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работников от поражения электрическим током. Отключить автомат двигателя в КТП АВО газа, вывесить плакат «не включать – работают люди». Вывесить плакат «не включать – работают люди» на кнопку управления;
  - подготовить первичные средства пожаротушения (огнетушитель ОП-10 – 1шт., асбоблотно 1,5х2м);
  - произвести анализ воздушной среды в рабочей зоне на наличие газа переносным газоанализатором с записью результатов в наряде-допуске;
- доложить в группу по ОТ о готовности объекта и исполнителей к проведению газоопасных работ.

### **6.3. Производственная безопасность**

В процессе трудовой деятельности на человека могут влиять вредные и опасные производственные факторы. К вредным относят факторы, вызывающие заболевания, к опасным – травмы.

В таблице 21 представлены опасные и вредные факторы при ведении работ в аппарате воздушного охлаждения компрессорной станции. На подготовительном этапе выполняется доставка и подготовка необходимого оборудования и специалистов.

Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) проводилась с использованием ГОСТ 12.0.003-2015.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

Таблица 21 – Возможные опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Повышенный уровень шума;	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общитребования безопасности.
2. Повышенный уровень общей вибрации;	ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общитребования.
3. Производственные факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. Запыленность загазованность рабочей зоны;	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное.
5. Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего;	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
6. Пожаро - взрывоопасность;	ГОСТ 12.1.044-2018. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов.
7. Производственные факторы, связанные с электрическим током;	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

### Анализ потенциально опасных факторов производственных факторов и мероприятия по их устранению

Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего

Работы по эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения связаны с использованием разных машин и агрегатов, поэтому на промысле может возникнуть опасность для человека со стороны движущихся машин и механизмов. В АВО основным рабочим органом является вентилятор, частота вращения которого достигает 7000 об/мин. При несвоевременном обслуживании агрегата возможны повреждения вентилятора, повреждение агрегата и травмирование человека.

В качестве средств защиты необходимо использовать защитные экраны,

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

закрывающие непосредственно блок АВО по ГОСТ 12.2.062-81. Ограждения защитные. Устанавливают их так, чтобы полностью исключить доступ человека в зону опасности. Работа категорически запрещается при неисправных ограждениях.

### Пожаро- и взрывоопасность

Аппарат воздушного охлаждения – это система теплообменного устройства, специализирующаяся на охлаждении жидкостей и газа. Газ при смешении с воздухом образует взрывоопасную смесь. Причиной пожара может стать утечка газа, который охлаждается в АВО.

Перед проведением работ необходимо убедиться в отсутствии избыточного давления в отключенном участке по отсутствию выхода газа через свечной кран и по манометру.

Для обеспечения безопасности производится анализ воздушной среды в рабочей зоне переносным газоанализатором постоянно в течение работ, после каждого перерыва в работе с записью максимального значения за период 30 минут в наряд-допуске. Работы проводятся при отсутствии в воздухе рабочей зоны или наличии не выше ПДК природного газа (СН<sub>4</sub>) -0,8% по объему, кислорода О<sub>2</sub> не менее 20 % и не более 23% по объему. Для предотвращения вероятного возгорания работники обеспечиваются средствами индивидуальной защиты, обеспечивающими взрывобезопасность, такими как:

- одежда из антистатических материалов;
- обувь, исключая искрообразование.

При работе используется обмедненный инструмент исключая искрообразование.

При возникновении пожара на месте работы предусмотрены первичные средства пожаротушения (огнетушитель ОП-10 – 1шт., асболоотно 1,5x2м).

Электродвигатель вентилятора выполняется во взрывозащищенном исполнении.

Требования пожарной безопасности при проведении огневых работ

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

устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.1.044-2018.

Пожаровзрывоопасность веществ и материалов.

В качестве меры профилактики должны использоваться системы контроля загазованности. На компрессорной станции должна предусматриваться система пенного пожаротушения, состоящая из резервуара сводой, насосной станции, сети пенных трубопроводов. Также должен быть противопожарный трубопровод с установленными гидрантами.

#### Производственные факторы, связанные с электрическим током

Электроустановки и их части должны соответствовать требованиям электробезопасности таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока, электрической дуги и электрических и магнитных полей.

Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применять следующие технические способы и средства (основная защита): основная изоляция, защитные оболочки, защитные ограждения и барьеры, вырывание потенциалов; защитное отключение и т.д.

Для защиты людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям применяется заземление и зануление.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов изложены в ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.

При проведении работ цепь электроснабжения электродвигателя отключается. Питающий кабель отсоединяется с видимым разрывом и заземляется.

### **Анализ вредных факторов производственной среды**

#### Повышенный уровень шума

Непосредственными источниками шума и вибрации являются аппарат

					Социальная ответственность	Лист
						85
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

воздушного охлаждения (осевой вентилятор и привод) и газоперекачивающий агрегат. В зависимости от мощности привода частота вращения вентилятора может достигать 7000 об/мин и более, что значительно повышает шум подшипниковых узлов.

В зависимости от длительного и интенсивного воздействия шума происходит большее или меньшее снижение чувствительности органов слуха, выражающееся временным смещением порога слышимости, которое исчезает после окончания воздействия шума, а при большой длительности и (или) интенсивности шума происходят необратимые потери слуха (тугоухость), характеризующиеся постоянным изменением порога слышимости.

Повышенный шум влияет на нервную и сердечно-сосудистую системы, репродуктивную функцию человека, вызывает раздражение, нарушение сна, утомление, агрессивность, способствует психическим заболеваниям.

В соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014 устанавливается эквивалентный уровень звука равный 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зонах с октавными уровнями звукового давления свыше 135 дБ в любой октавной полосе.

Основные методы борьбы с шумом:

- согласно ГОСТ 12.1.029-80 внутреннюю часть стен блока, где находится АВО, можно покрыть шумопоглощающей изоляцией. Также возможно применение звукоизолирующего кожуха непосредственно в блоке, где установлен АВО.
- средства индивидуальной защиты (беруши, наушники, ватные вкладыши);
- соблюдение режима труда и отдыха;
- использование дистанционного управления при эксплуатации шумящего оборудования и машин.

#### Повышенный уровень общей вибрации

Наличие даже минимального дисбаланса в технической системе многократно преумножается в сильные вибрации, которые воздействуют на

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

машинистов, работающих в непосредственной близости от АВО.

Длительное воздействие вибрации высоких уровней на организм человека приводит к развитию преждевременного утомления, снижению производительности труда, росту заболеваемости и нередко к возникновению профессиональной патологии – вибрационной болезни.

Индивидуальные СИЗ от вибрации согласно: виброизолирующая обувь, подметки и специальные стельки, прокладки и вкладыши, а также специализированные рукавицы и перчатки.

Коллективная защита от вредного воздействия вибрации осуществляется путем установки агрегатов в индивидуальных укрытиях, применением конструктивных мер снижения уровней вибрации, уменьшением времени контакта с вибрирующими поверхностями.

Защита от вибрации также обеспечивается балансировкой вращающихся частей оборудования и механизмов и устройством виброгасящих опор и фундаментов.

Общие требования изложены в ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ.

Производственные факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего

Постоянное отклонение метеоусловий на рабочем месте от нормальных параметров приводит к перегреву или переохлаждению человеческого организма.

Негативные последствия, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды:

- 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 летний период должны быть

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

обеспечены специальной одеждой, обувью, средствами защиты рук, головы, лица и глаз, а также средствами для защиты от насекомых.

Работающие в зимний период должны быть обеспечены спецодеждой с теплозащитными свойствами, обувью, перчатками. Также работники должны иметь возможность периодически находиться в теплом помещении.

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

#### Запыленность и загазованность рабочей зоны

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет 1,1-10 мг/м<sup>3</sup>, для природного газа ПДК равно 300 мг/м<sup>3</sup>.

ПДК транспортируемых газов, вредных примесей и некоторых применяемых веществ:

– метан по санитарным нормам относится к 4-му классу опасности (малоопасные вредные вещества со значением ПДК в пересчете на углерод) – 300 мг/м<sup>3</sup>.

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами.

При работе с вредными веществами 1-, 2-, 3-го классов опасности (ртуть, одорант, сероводород, метанол, диэтиленгликоль и т.д.) должно быть обеспечено регулярное обезвреживание и дезодорирование СИЗ.

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



#### 6.4. Экологическая безопасность

Для защиты селитебной зоны атмосферы, гидросферы и литосферы от негативного воздействия используются следующие основные меры.

##### Защита селитебной зоны

Согласно постановлению Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. объекты по добыче сырой нефти (или) природного газа, включая переработку природного газа и производству нефтепродуктов относятся к объектам I категории оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (НВОС).

Санитарно-защитная зона (СЗЗ), которая отделяет территорию промышленной площадки от жилой застройки, составляет (согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1200-03) – 1000 м.

С целью уменьшения загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами, выделяемыми газопоршневыми двигателями, размещение станций осуществляется с учетом господствующего направления ветра, чтобы уменьшить попадание веществ, загрязняющих атмосферный воздух, на селитебную зону.

##### Защита атмосферы

Атмосферный воздух рабочей зоны должно соответствовать требованиям СанПиН 2.1.3684-21.

АВО использует в качестве охлаждаемых продуктов природный газ, который представляет собой смесь продуктов сгорания с избыточным горением. В общем случае продукты сгорания могут содержать:

- продукты полного сгорания горючих компонентов топлива;
- компоненты неполного сгорания топлива;
- окислы азота.

Для снижения концентрации вредных веществ выхлопных газов необходима более тщательная подготовка топливного газа, для понижения содержания механических примесей; осуществление периодического контроля за содержанием загрязняющих веществ в выхлопных газах; допуск к

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

эксплуатации машин и механизмов исключительно в исправном состоянии.

### Защита гидросферы

Губительным для гидросферы фактором является разлив смазочно-охлаждающих жидкостей, а также отработанного масла в случае несоблюдения правил замены жидкостей и их транспортировки.

Для предупреждения загрязнения гидросферы строго соблюдаются правила соблюдения требований к охране подземных (ГОСТ 17.1.3.06-82.) и поверхностных вод (ГОСТ 17.1.3.13-86):

- Емкости с отработанными ГСМ должны временно храниться на специально отведенной площадке с обваловкой на металлических поддонах, с оборудованным герметичным бордюром, позволяющим предотвратить разлив хранящегося количества отходов ГСМ за пределы площадки;
- Обслуживание, ремонт, заправка техники осуществляется на специально оборудованных (с учетом экологических требований) площадках;
- очистка и обеззараживание поверхностных вод, используемых для водоснабжения и других целей.

### Защита литосферы

В работе с АВО подразумевается осуществление регулярного технического обслуживания. Замена отработавших материалов и узлов приводит к образованию твердых отходов производства (металлолом, фторопласт, прочий бытовой и технический мусор). Для утилизации бытовых отходов применяются полигоны твердых бытовых отходов согласно ГОСТ Р 53692-2009.

Предлагаемые меры по снижению воздействия: своевременная уборка мусора и отходов; рекультивация нарушенных земель; планировка полосы отвода после окончания каких-либо ремонтных работ в целях сохранения направления естественного поверхностного стока воды; размещение отвалов грунта исключительно в пределах границы полосы землеотвода, если таковой имеется. При выполнении вышеуказанных мероприятий, воздействие на земельные угодья будет минимальным.

					Социальная ответственность	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 6.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможные ЧС на объекте:

- аварийная остановка при превышении частоты вращения вентилятора;
- аварийная остановка при превышении температуры в рабочей камере;
- нарушение рабочего режима охлаждения;
- аварийная остановка при превышении уровня вибрации;
- появление открытого огня;
- перегрузка электроприборов.

Наиболее типичной ЧС является нарушение рабочего режима охлаждения.

Для предотвращения нарушения рабочего режима охлаждения снабжена средствами измерения и контроля, имеет защитные блокировки, обеспечивающие отключение агрегата при нарушении рабочего режима охлаждения. Большая часть защитных систем выведена щит контроля, который размещен в отсеке компрессора газоперекачивающего агрегата.

Для повышения устойчивости объекта к данной ЧС необходимо выполнение регламентированных мер по подготовке и включению привода вентилятора работу. После прогрева газа включаются валоповоротные устройства, регулируется давление в агрегате сбросным клапаном, проверяются защиты и блокировки.

При возникновении аварийной ситуации в аппарате воздушного охлаждения и невозможности восстановления режима необходимо произвести разгрузку секции теплообмена и отключение АВО. Причинами повышения температуры могут быть нарушение работы теплообменной секции по причине их завоздушивания.

Компрессорная станция является объектом повышенной опасности для всего персонала, а также объектом, на котором установлено дорогостоящее оборудование, эксплуатировать которое должны специалисты предприятия,

					Социальная ответственность	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

которые прошли обучение и имеют допуск к работе оборудования, транспорта, а также знают, как действовать в случаях аварий, в нестандартных ситуациях.

### **Вывод**

В данном разделе были проанализированы возможные вредные и опасные факторы, которые способны нанести ущерб здоровью человека и окружающей среде. Соблюдение необходимых мер безопасности позволит снизить влияние данных факторов на здоровье работника и предупредить возникновение ЧС. Также нужно особое внимание уделить вопросам экологической безопасности, так как в АВО используют в качестве охлаждаемых продуктов природный газ, который представляет собой смесь продуктов сгорания с избыточным горением.

С целью обеспечения безопасности сотрудника производится контроль за источниками негативного воздействия, за соблюдением основных правил и использованием индивидуальных и коллективных средств защиты. Также все сотрудники должны регулярно проходить проверку знаний правил безопасности и поведения в ЧС.

					Социальная ответственность	Лист
						92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		





13. Степанов О. А. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного аппарата воздушного охлаждения: методические указания для студентов специальности 140104"Промышленная теплоэнергетика" к курсовой работе по "Теоретическим основам теплотехники". - Тюмень: РИО ГОУ ВПО ТюмГАСУ, 2009. – 41 с.
14. Калинин А.Ф., Меркурьева Ю.С., Фомин А.В. Оценка эффективности использования частотно-регулируемого электропривода аппаратов воздушного охлаждения газа на линейных компрессорных станциях магистральных газопроводов. Территория «НЕФТЕГАЗ». 2019;(11):68-75.
15. Альмухаметов, Д. Ш. Методы оптимизации системы охлаждения газа на компрессорных станциях / Д. Ш. Альмухаметов // Вестник современных исследований. – 2018. – № 9.3(24). – С. 185-189.
16. Установка частотно-регулируемого привода на АВО газа // Киберленинка URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustanovka-chastotno-reguliruemogo-privoda-na-avo-gaza/viewer> (дата обращения: 28.05.2023).
17. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018);
18. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
19. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
20. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
21. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
22. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
23. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
24. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное.
25. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
26. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Классификация и общие требования безопасности.
27. ГОСТ 12.1.044 2018. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов.

					Список использованных источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

## Приложение А



Рисунок А1 - Технологическая схема [REDACTED]

					<i>Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода</i>							
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>								
<i>Разраб.</i>		<i>Дягилев В.Д.</i>			<b>Приложение А</b>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>		
<i>Руковод.</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>							96	96		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>						Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91				