

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

Школа: Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки: 21.04.01 Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Повышение эффективности работы аппарата воздушного охлаждения компрессорной станции

УДК 622.279.51:621.56

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Казанцев Максим Александрович		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компет енции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК-1	Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в нефтегазовой области
ОПК-2	Способен осуществлять проектирование объектов нефтегазового производства
ОПК-3	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в нефтегазовой отрасли и смежных областях
ОПК-6	Способен участвовать в реализации основных и дополнительных профессиональных образовательных программ, используя специальные научные и профессиональные знания
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность оценивать эффективность инновационных решений и анализировать возможные технологические риски их реализации.
ПК(У) - 2	Способность анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль и техническое сопровождение.
ПК(У)-3	Способность обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли.
ПК(У)-4	Знание современных САД-САЕ-систем, их функциональные возможности для проектирования геометрических моделей изделий высокой сложности.
ПК(У)-5	Способность применять полученные знания для разработки и реализации проектов, различных процессов производственной деятельности на основе методики проектирования в нефтегазовой отрасли, а также инструктивно-нормативных документов.
ПК(У)-6	Способность к разработке учебно-методических материалов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования
ПК(У)-7	Способность реализовывать программы профессионального обучения: планировать и проводить учебные занятия, оценивать достижение

Код компет енции	Наименование компетенции
	планируемых результатов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования

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

Школа: Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность): 21.04.01 Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Манабаев К.К.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ05	Казанцев Максим Александрович

Тема работы:

Повышение эффективности работы аппарата воздушного охлаждения компрессорной станции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№39-38/с от 08.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования данной дипломной работы является биметаллические теплообменные трубы аппарата воздушного охлаждения компрессорной станции. Исследование эффективности современных методов модернизации оборудования аппаратов воздушного охлаждения компрессорной станции. Эксплуатация аппаратов воздушного охлаждения не должна приводить к загрязнению окружающей среды.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основные элементы конструкции аппаратов воздушного охлаждения компрессорной станции; 2. Пути повышения эффективности работы АВО; 3. Построить САЕ – модель L и LL – образного оребрения стальной несущей трубы, алюминием и магниевым сплавом; 4. Выбор наиболее эффективного варианта оребрения воспринимающего относительно высокие по величине тепловые нагрузки; 5. Выполнить тепловой расчет, определить поверхность охлаждения АВО и сравнить её с фактической; 6. Произвести оценку экономической эффективности модернизации теплообменных труб АВО.
--	---

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Рисунки, таблицы</p>
--	-------------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Шарф И.В., доцент ОНД, д.э.н
«Социальная ответственность»	Сечин А.А., доцент ООД, к.т.н
Compressor station air-cooled heat exchanger	Матвеев И.А., профессор ОИЯ, д.ф.н

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

Реферат
Аппарат воздушного охлаждения компрессорной станции

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	31.01.2022
--	------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Казанцев Максим Александрович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ05	Казанцев Максим Александрович

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оценка стоимости материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов при усовершенствовании биметаллических теплообменных труб
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Общая часть. Сборник Е5; Сборник Е22.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налоговый кодекс Российской Федерации ФЗ №67 от 24.07.2009 в ред. от 28.05.2022

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Обоснование экономической перспективности варианта LL – образного оребрения теплообменной трубы.
<i>2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Расчет затрат на модернизацию теплообменных оребренных труб L – образного оребрения стальной несущей трубы алюминиевым сплавом и LL – образного оребрения стальной несущей трубы алюминиевым сплавом
<i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Сравнительная оценка стоимости модернизации теплообменных оребренных труб L – образного оребрения стальной несущей трубы алюминиевым сплавом и LL – образного оребрения стальной несущей трубы алюминиевым сплавом

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.01.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Казанцев Максим Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 2БМ05		ФИО Казанцев Максим Александрович	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01 Нефтегазовое дело

Тема ВКР:

Повышение эффективности работы аппарата воздушного охлаждения компрессорной станции	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> биметаллические теплообменные трубки. <i>Область применения:</i> аппарат воздушного охлаждения компрессорной станции. <i>Рабочая зона:</i> полевые условия. <i>Климатическая зона:</i> климат в районе работ резко-континентальный с суровой зимой и жарким летом. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> теплообменная секция аппарата воздушного охлаждения компрессорной станции. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> охлаждение компримируемого газа, циркулирующего по трубному участку аппарата воздушного охлаждения.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022)</p> <p>ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования;</p> <p>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Повышенный уровень шума; – Повышенный уровень общей вибрации; – Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе; – Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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; струи и волны, включая цунами; ветер и вихри, включая смерчи и торнадо;</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенная температура трубопроводной обвязки; – пожароопасность и взрывоопасность. <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: нормирование рабочего времени на открытом воздухе, система обогрева и мероприятий по 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>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на селитебную зону:</p> <ul style="list-style-type: none"> • учет санитарно-защитной зоны при строительстве компрессорных станций <p>Воздействие на литосферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> • твердые бытовые отходы при техническом обслуживании и ремонте аппаратов воздушного охлаждения; • охлаждающих жидкостей. <p>Воздействие на гидросферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> • возможный разлив смазочно-охлаждающих жидкостей <p>Воздействие на атмосферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> • выброс газа; • выбросы продуктов сгорания топлива.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> • аварийная остановка при превышении частоты вращения вентилятора; • нарушение рабочего режима охлаждения; • аварийная остановка при превышении уровня вибрации; • перегрузка электроприборов. <p>Наиболее типичная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – нарушение рабочего режима охлаждения.
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 31.01.2022</p>	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Казанцев Максим Александрович		

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

Школа: Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность): 21.04.01 Нефтегазовое дело
 Уровень образования: Магистратура
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения: _____ (осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.02.2022	<i>Проведение анализа учебной литературы и нормативно-технической документации с целью систематизации информации о повышении эффективности работы аппарата воздушного охлаждения</i>	10
01.03.2022	<i>Введение</i>	5
15.03.2022	<i>Аппарат воздушного охлаждения компрессорной станции</i>	5
26.03.2022	<i>Пути повышение эффективности работы АВО</i>	10
13.04.2022	<i>Разработка наиболее эффективного варианта обречения биметаллической трубы</i>	15
20.04.2022	<i>Тепловой расчет АВО</i>	15
05.05.2022	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
17.05.2022	<i>Социальная ответственность</i>	5
24.05.2022	<i>Compressor station air-cooled heat exchanger</i>	10
01.06.2022	<i>Заключение</i>	5
07.06.2022	<i>Презентация</i>	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 107 страниц, 27 рисунков, 16 таблиц, 35 источников, 1 приложение

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

Объектом исследования являются биметаллические теплообменные трубы, применяемые в аппаратах воздушного охлаждения.

Цель работы – модернизация биметаллических теплообменных труб для повышения эффективности работы аппарата воздушного охлаждения.

Для достижения поставленной цели рассмотрены следующие задачи:

1. Проанализировать теплообменные секции аппарата воздушного охлаждения и предложить пути повышения эффективности ее работы.
2. Построить САЕ – модель L и LL – образного оребрения стальной несущей трубы, алюминием и магниевым сплавом.
3. Выбрать наиболее эффективный вариант оребрения воспринимающий относительно высокие по величине тепловые нагрузки.
4. Экономическая оценка модернизации теплообменных труб АВО.

В процессе исследования проводился анализ основных элементов аппарата воздушного охлаждения компрессорной станции. Рассмотрены основные пути повышения эффективности работы аппаратов воздушного охлаждения. Приведены технико-экономические расчеты на затраты материальных средств при модернизации теплообменного оборудования, а именно рассмотрены технологии с L – образным оребрением несущей стальной трубы алюминиевым сплавом и LL – образным оребрением несущей трубы алюминиевым сплавом.

В результате исследования был произведен сравнительный анализ двух вариаций оребрения теплообменной трубы. Была разработана модель теплообменной трубы с алюминиевым накатыванием в программном комплексе Ansys. Была оценена эффективность теплопереноса и температура

распределения оребрения трубы, магниевым сплавом, по отношению к оребренной трубы алюминием.

На основании полученных результатов было выявлено, что применение LL – образного варианта оребрения несущей трубы магниевым сплавом имеет ряд преимуществ, одним из которых является увеличением срока эксплуатации и межремонтного периода и, как следствие, снижение затрат на ремонт в будущем.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: технология и организация выполнения работ, монтаж конструкций, сварочно-монтажные работы.

Степень внедрения: предложены рекомендации по применению наиболее эффективных вариантов оребрения теплообменных труб материалов для эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения.

Область применения: аппарат воздушного охлаждения компрессорной станции

THE ABSTRACT

Final qualifying work 107 pages, 27 figures, 16 tables, 35 sources, 1 appendix

Key words: compressor station, air-cooled heat exchanger, gas cooling, heat exchange section, finned pipes.

The object of research is bimetallic heat exchange pipes used in air coolers.

The purpose of the work is the modernization of bimetallic heat exchange pipes to improve the efficiency of the air cooler.

To achieve this goal, the following tasks were considered:

1. Analyze the heat exchange sections of the air cooler and suggest ways to improve its efficiency.
2. Build CAE - model L and LL - shaped finned steel carrier pipe, aluminum and magnesium alloy.
3. Choose the most efficient finning option that perceives relatively high thermal loads.
4. Economic evaluation of the modernization of heat-exchange tubes of air coolers.

In the course of the study, an analysis was made of the main elements of the air-cooling apparatus of the compressor station. The main methods of increasing the efficiency of air-cooling apparatuses are considered. Technical and economic calculations for the costs of material resources during the modernization of heat exchange equipment are given, namely, technologies with L - shaped finning of the supporting steel pipe with aluminum alloy and LL - shaped finning of the supporting pipe with magnesium are considered.

As a result of the study, a comparative analysis of two variations of the heat exchange tube fins was made. A model of a heat exchange pipe with aluminum rolling was developed in the Ansys software package. The heat transfer efficiency and distribution temperature were evaluated.

The main design, technological and technical and operational characteristics: technology and organization of work, installation of structures, welding and installation work.

Degree of implementation: recommendations on the use of the most efficient options for finning heat-exchange pipe materials for the operation of air coolers are proposed.

Scope of application: compressor station air cooler.

Термины и определения

В данной работе приведены следующие термины и определения

Газотранспортная система, ГТС – совокупность взаимосвязанных газотранспортных объектов региональной или/и территориально-производственной подсистемы, единой системы газоснабжения, обладающая возможностями автономного управления внутренними потоками и регулирования газоснабжения.

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.

Нагнетатель – гидравлическая машина, предназначенная для преобразования энергии внешнего источника (механической, электрической, химической и т.п.) в энергию потока жидкости или газа (потенциальную и (или) кинетическую).

Газопровод магистральный, МГ – комплекс производственных объектов, обеспечивающих транспорт природного или попутного нефтяного газа, в состав которого входят одноточный 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.

Регенератор/рекуператор – теплообменный аппарат, предназначенный для передачи теплоты отработавших в турбине газов рабочему телу.

Теплообменная секция АВО – система трубок, через которые протекает охлаждаемая среда, и коллекторов, к которым подключаются

подающий и отводящий трубопроводы и которые распределяют охлаждаемую среду равномерно по трубкам теплообменника.

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

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

Сокращения и обозначения

В настоящей выпускной квалификационной работе применены следующие сокращения и обозначения:

ГКС – головная компрессорная станция;

ВЭР – внутренние энергоресурсы;

АВО – аппарат воздушного охлаждения;

АВГ – аппарат воздушного охлаждения горизонтальный;

АД – асинхронный двигатель;

ГПА – газоперекачивающий агрегат;

БПТИГ – блок подготовки топливного, пускового и импульсного газа;

ВПГ – высоконапорный парогенератор;

ГТС – газотранспортная система;

ГТУ – газотурбинная установка;

ГПЗ – газоперерабатывающий завод;

ДКС – дожимная компрессорная станция;

ЕСГ – единая система газоснабжения;

КПД – коэффициент полезного действия;

КС – компрессорная станция;

КС* – камера сгорания;

КУ – котел-утилизатор;

ЛКС – линейная компрессорная станция;

МГ – магистральный газопровод;

НПГ – низконапорный парогенератор;

ОК – осевой компрессор;

ПГУ – парогазовая установка;

ПХГ – подземное хранилище газа;

ПЧ – преобразователь частоты;

РТ – регенеративный теплообменник;

САУ – система автоматического управления;

ТА – теплообменный аппарат;

ЦК – центробежный компрессор;

ЦПДД – центральный производственно-диспетчерский департамент;

ЭХЗ – электрохимическая защита.

Оглавление

Введение.....	20
1 Компрессорная станция.....	21
1.1 Основные узлы и элементы компрессорной станции и их назначение.....	22
1.2 Аппарат воздушного охлаждения компрессорной станции	25
1.2.1 Основные элементы конструкции аппаратов воздушного охлаждения.	27
1.2.2 Основные параметры аппаратов воздушного охлаждения.....	28
1.3 Теплообменные секции АВО	28
1.4 Вентиляторы	31
1.5 Опорные конструкции	36
1.6 Дополнительные элементы АВО.....	37
2 Пути повышение эффективности работы АВО	41
2.1 Выбор оптимального температурного режима газопровода.....	41
2.2 Изменение углов атаки лопастей вентилятора.....	43
2.3 Применение частотно-регулируемого привода	43
2.4 Совершенствование системы очистки оребренных поверхностей трубных пучков	44
3 Построение САЕ – модели L и LL – образного оребрения стальной несущей трубы, алюминием и магниевым сплавом.....	49
3.1 Выбор наиболее эффективного варианта оребрения воспринимающего относительно высокие по величине тепловые нагрузки.....	49
3.2 Решение задачи.....	51
4 Тепловой расчет АВО газа	59
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	66
5.1 Расчет трудоемкости работ	66
5.2 Расчет затрат на оборудование, необходимого для проведения замены теплообменных труб	68
5.3 Расчет затрат на оплату труда.....	69
5.4 Затраты на страховые отчисления в государственные внебюджетные фонды.....	70
5.5 Расчет материальных затрат	71

5.6 Накладные расходы.....	72
5.7 Сравнительный анализ L – образного оребрения и LL – образного оребрения	72
5.8 Метод оценки энергосберегающих эффектов.....	73
6 Социальная ответственность	75
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75
6.2 Производственная безопасность.....	76
6.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	77
6.3 Экологическая безопасность.....	84
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	86
Заключение	88
Список используемых источников.....	90
Приложение (А).....	94

Введение

Энергетика – один из фундаментов современной цивилизации. Нефть и газ являются одними из основных источников индустриальной энергии и помимо энергетики, обеспечивают работу транспорта (авиация, автомобили, водные корабли и железнодорожные поезда) и являются сырьем для химических производств, производящих материалы и сельскохозяйственные удобрения. В связи с этим потребление энергии в мире растет с каждым днем, потребность в добыче и транспортировке больших объемов нефти и нефтепродуктов возрастает. Поэтому, целесообразность использования энергетических ресурсов и совершенствование применяемых на объектах технологий остается главной задачей нефтегазовой промышленности [1].

Эффективное использование энергоресурсов возможно при повышении качества технологических процессов и снижении потерь в виде энергозатрат на объектах магистральных газопроводов. Важной задачей является разработка методов по повышению эффективности работы элементов компрессорной станции.

Модернизация аппаратов воздушного охлаждения газа на компрессорной станции магистрального газопровода является одним из потенциально эффективных вариантов снижения энергетических затрат. На охлаждение компримированного газа тратится значительная часть потребления электроэнергии компрессорной станцией: 60-70% от общего объема, таким образом вопрос целесообразности использования энергоресурсов является актуальным.

1 Компрессорная станция

Компрессорная станция – это многофункциональная система подготовки и транспортировки природного газа при помощи технологического оборудования.

КС является неотъемлемой частью газотранспортной системы. Без нее транспортировка ценного углеводородного сырья на большие расстояния была бы невозможна.

Компрессорная станция задает технологический режим трубопровода, благодаря ей осуществляется контроль параметров перекачки природного газа и обеспечивается его доставка потребителю.

По функциональному назначению выделяют головные (расположены вблизи месторождения газа), линейные (располагаются вдоль линейной части газопровода) и дожимные (осуществляют подачу газа из подземных хранилищ).

Головная станция отвечает за переработку только что добытого на месторождении газа. Подготовка включает обязательную очистку от примесей (механические, сера и пр. нежелательные компоненты), удаление влаги, разделение флюида на газ и конденсат, выделение фракций [2].

Компрессорные станции, расположенные по линейной части, отвечают за поддержание рабочего давления по длине газопровода для обеспечения процесса движения газа по трубопроводу. Обычно расстояние между ними составляет 100 – 150 км.

Дожимные КС предназначены для отбора газа из подземного хранилища (ПХГ) и его подачи в газопровод. Обычно дожимные компрессорные станции эксплуатируются в холодное время года так как именно в это время востребованы подземные хранилища газа.

При разработке газового месторождения неизбежно снижается пластовое давление, поэтому для обеспечения давления выше давления магистрального трубопровода на промысле устанавливаются дожимные компрессорные станции. ДКС включают установку подготовки газа, а также

обладает высокой по сравнению с линейными КС степенью сжатия – в среднем в 3 раза.

Ввиду гидравлического сопротивления в газопроводе происходит изменение давления по длине. Падение давления приводит к таким негативным последствиям как: снижение температуры транспортируемого газа за счет теплообменных процессов с металлом трубы.

Важно составляющей каждой компрессорной станции является газоперекачивающий агрегат (ГПА). Обычно несколько ГПА объединяются в газокomppressorный цех, который входит в состав КС. В основе ГПА лежит газотурбинная установка и центробежный насос (ЦН), которые создают давление в магистральном трубопроводе путем сжатия и подачи природного газа. Конструктивными элементами ГПА являются: нагнетатель с приводом, воздухоочистительное устройство, блок подачи масла, блок автоматики и т.д.

1.1 Основные узлы и элементы компрессорной станции и их назначение

Взаимное расположение сооружений на закрепленной площадке, производственные, а также бытовые помещения в главном здании КС и расположение в этих сооружениях как основного, так и вспомогательного оборудования; все эти элементы в комплексе и будут иметь название «компоновка». Основными применяемыми вариантами компоновок КС являются сомкнутые, полу-сомкнутые, разомкнутые и сблокированные.

Наиболее широкое распространение получила сомкнутая компоновка, так как обеспечивает близкое расположение сооружений, меньшую ресурсоемкость и, как следствие, меньшую стоимость.

Полусомкнутая и разомкнутая компоновки по большей части применяются при отсутствии пространства для строительства компрессорной станции.

Компрессорная станция включает в своем составе сооружения, представленные на рисунке 1.1.

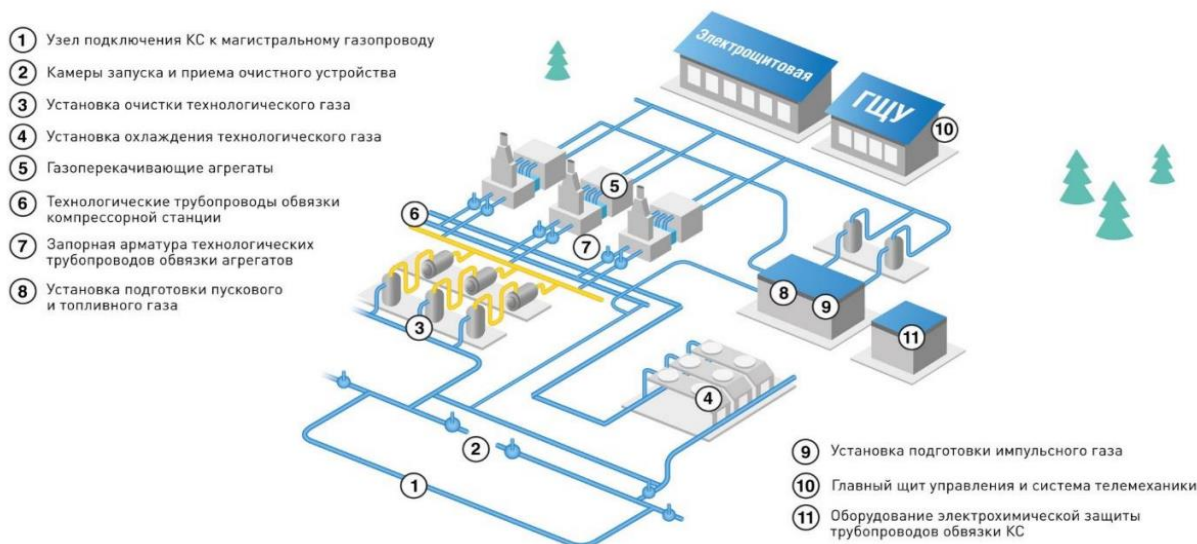


Рисунок 1.1 – Комплекс сооружений, элементов и узлов промежуточной компрессорной станции

Основное оборудование:

- 1) узел подключения КС к магистрали;
- 2) КППСОД (камеры пуска-приема средств очистки и диагностики);
- 3) блок очистки технологического газа, (двухступенчатая очистка: пылеуловители и фильтр-сепараторы);
- 4) установка охлаждения технологического газа (АВО газа);
- 5) газоперекачивающие агрегаты;
- 6) технологические трубопроводы обвязки компрессорной станции;
- 7) запорная арматура обвязки центробежного нагнетателя;
- 8) установка подготовки пускового и топливного газа;
- 9) установка подготовки импульсного газа;
- 10) главный щит управления и системы телемеханики;
- 11) оборудование электрохимической защиты газопровода: обвязки компрессорной станции.

Узел подключения представлен охранным краном (для автоматического аварийного отключения компрессорной станции от трубопровода), входным краном (предупреждает газодинамический удар) и свечной кран (сбрасывает давление путем выпуска газа с обвязки в

атмосферу). На технологической схеме как правило краны обозначаются: № 7 – входной, №17 – свечной, № 19 – входной.

Одним из назначений установки очистки на компрессорной станции является двухступенчатая очистка. Природный газ при этом очищается от механических примесей концентрацией до 0,05 мг/м³ и влаги. Первым этапом очистки являются пылеуловители (ПУ), где улавливаются взвешенные частицы мех. примесей. Наибольшее распространение получили ПУ, где происходит отделение примесей при помощи инерционных сил (циклонные ПУ).

Далее доочистка осуществляется в фильтрах-сепараторах, удаляются механические примеси, при этом удаление происходит сначала сетке-фильтре, затем – в сетках-пакетах. Подача газа в систему очистки осуществляется через дренажные патрубки.

Снижение температуры газа осуществляется комплексным воздействием, которое включает рабочую и несколько резервных ниток систем охлаждения. Данная система называется аппаратом воздушного охлаждения (АВО). После сжатия согласно уравнению состояния происходит повышение температуры газа, следовательно, существует необходимость в его охлаждении.

Охлаждаемый газ движется по трубам АВО, которые обдуваются окружающим воздухом, нагоняемым вентиляторами. По расположению вентилятора выделяют нагнетательные АВО (подача воздуха снизу-вверх), и вытяжные (вентилятор находится над теплообменными трубами и «вытягивает» трубы). Для поддержания теплообменных труб в оптимальном и эффективном состоянии необходимо соблюдать график очистки и промывки секций. В график входит, обдув секций сжатым воздухом и паром, а также промывка водой не реже 1 раза в полгода.

Блок топливного и пускового газа включает пусковое устройство в виде турбодетандера или электропривода. Газ в блок поступает с мест отбора до и после крана № 20, после систем очистки и непосредственно перед АВО.

Проектом рассмотрена работа оборудования и обвязки КС в условиях переменного режима эксплуатации как самого газопровода, так и непосредственно компрессорной станции.

В зависимости от способа компримирования газа выделяются: газотурбинные, электроприводные и поршневые компрессорные станции.

Компрессорная станция обеспечивает подготовку и транспорт газа от месторождения до потребителя поэтому является неотъемлемой частью системы трубопроводного транспорта. КС является энерго- и металлоемкой конструкцией, вследствие чего актуальными являются вопросы обеспечения мероприятий по снижению затрат на строительство и обслуживание компрессорных станций, в частности, газоперекачивающих систем и аппаратов воздушного охлаждения.

Одним из приоритетных направлений на сегодняшний день является замена старых ГПА и совершенствование их конструкции. Наибольшее распространение получили полнонапорные нагнетатели.

1.2 Аппарат воздушного охлаждения компрессорной станции

Аппарат воздушного охлаждения (рис. 1.2) состоит из одной или нескольких теплообменных секций, установленных на металлоконструкции, вентиляторов, которые прокачивают потоки воздуха через теплообменник и приводов вентиляторов (электромоторов). Вентиляторы устанавливаются в специальных диффузорах, которые предназначены для повышения эффективности и направления воздушного потока. Диффузор вентилятора представляет собой обечайку цилиндрической формы, внутри которой размещен сам вентилятор. Теплообменная секция состоит из оребренных трубок, через которые протекает охлаждаемая среда, и коллекторов, к которым подключаются подающий и отводящий трубопроводы и которые распределяют охлаждаемую среду равномерно по трубкам теплообменника. Технологическая среда, которую требуется охладить, поступает в трубки теплообменника. Тепло передается от жидкости (газа) к трубкам, а от трубок к ребрам и далее к воздуху, который отводит тепло от теплообменника в

окружающую среду. Использование АВО позволяет убрать из эксплуатационных затрат на теплообменное оборудование такие дорогостоящие статьи расходов как затраты на химическую подготовку и прокачку воды, борьбу с замерзанием в зимний период эксплуатации и затраты на очистку сточных вод. При этом АВО устраняет экологические проблемы, связанные со сбросом нагретых сточных вод, сточных вод загрязненных утечками нефтепродуктов, реагентами, используемыми в водоподготовительных установках и в процессе промывки теплообменного оборудования [3].



Рисунок 1.2 – Внешний вид аппарата воздушного охлаждения

Существует два исполнения аппаратов воздушного охлаждения:

- аппараты с естественной конвекцией воздуха через теплообменник;
- аппараты с принудительной циркуляцией воздуха, которая осуществляется с помощью вентиляторов.

Аппараты воздушного охлаждения с принудительной циркуляцией воздуха применяются значительно чаще, т.к. их эффективность намного выше.

Теплообменники с естественной конвекцией применяются в специальных случаях, где технологические процессы требуют обеспечения небольших скоростей воздуха, например, в некоторых типах холодильных камер. Аппараты воздушного охлаждения удобны в эксплуатации, их очистка от загрязнений и ремонт не являются трудоемкими. Загрязнение и коррозия наружной поверхности, свойственные всем другим типам теплообменников, практически отсутствуют. В случае внезапного отключения электроэнергии продолжается теплосъем 25 – 30% тепла за счет естественной конвекции воздуха. Таким образом, даже при возникновении нештатных ситуаций вероятность возникновения аварий или пожаров невысока [4].

1.2.1 Основные элементы конструкции аппаратов воздушного охлаждения

Аппараты воздушного охлаждения состоят из следующих основных узлов (Рис. 1.3):

1. теплообменных секций;
2. осевого вентилятора с приводом;
3. устройств для регулирования расхода охлаждающего воздуха;
4. опорных и оградительных конструкций.

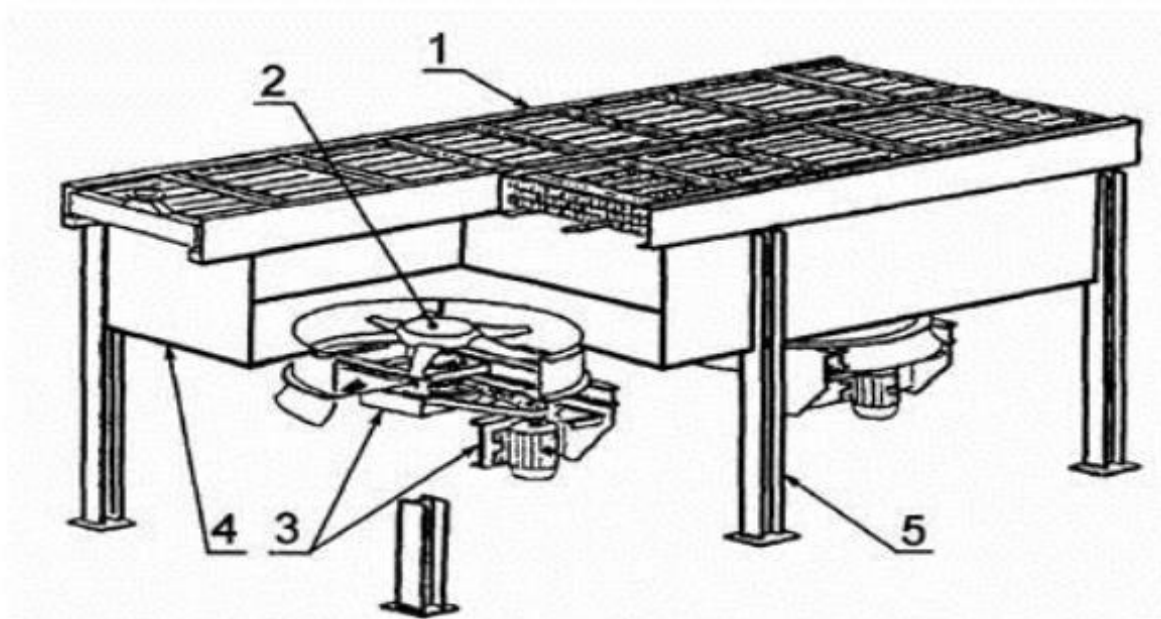


Рисунок 1.3 – Принципиальная схема аппарата воздушного охлаждения

1.2.2 Основные параметры аппаратов воздушного охлаждения

Основными параметрами при выборе и проектировании АВО являются:

- производительность,
- расчетное давление,
- расчетная температура,
- материал труб теплообменника (зависит от теплоносителя).

Также при выборе АВО значение имеют такие параметры как:

- объем внутреннего контура (объем заправки),
- площадь поверхности теплопередачи,
- диаметр и тип подключений теплоносителя,
- массогабаритные характеристики.

1.3 Теплообменные секции АВО

Основным элементом аппаратов воздушного охлаждения являются теплообменные секции, теплообменную поверхность которых komponуют из оребренных труб, закрепленных в трубных решетках в четыре, шесть либо восемь рядов. К трубным решеткам присоединены крышки, внутренняя полость которых служит для распределения охлаждаемого потока жидкости по трубам. По сторонам секций установлены боковые рамы, которые удерживают трубы, трубные решетки и крышки в определенном положении. Секции монтируют на раме, опирающейся на опорные стойки аппарата, и фиксируют с одного конца, что обеспечивает свободное тепловое расширение элементов секций при нагревании.

Охлаждение различных жидких теплоносителей воздухом было бы экономически невыгодно, если бы в трубных секциях устанавливались обычные гладкие трубы: невысокая скорость охлаждающего потока в сочетании с невысокой плотностью и теплопроводностью воздуха обуславливают небольшие значения коэффициентов теплоотдачи со стороны воздуха. Относительно низкие коэффициенты теплоотдачи со стороны

воздуха по сравнению с коэффициентами для охлаждаемых или конденсируемых жидкостей могут быть частично компенсированы развитием поверхностей со стороны воздуха. Такая возможность появляется, если использовать оребренные трубы, площадь наружной поверхности которых в 10 – 25 раз больше площади их внутренней поверхности [5].

Форма ребер может быть различной (рис. 1.4), причем могут использоваться ребра для труб, объединенных в группы по две, три трубы и более [6].

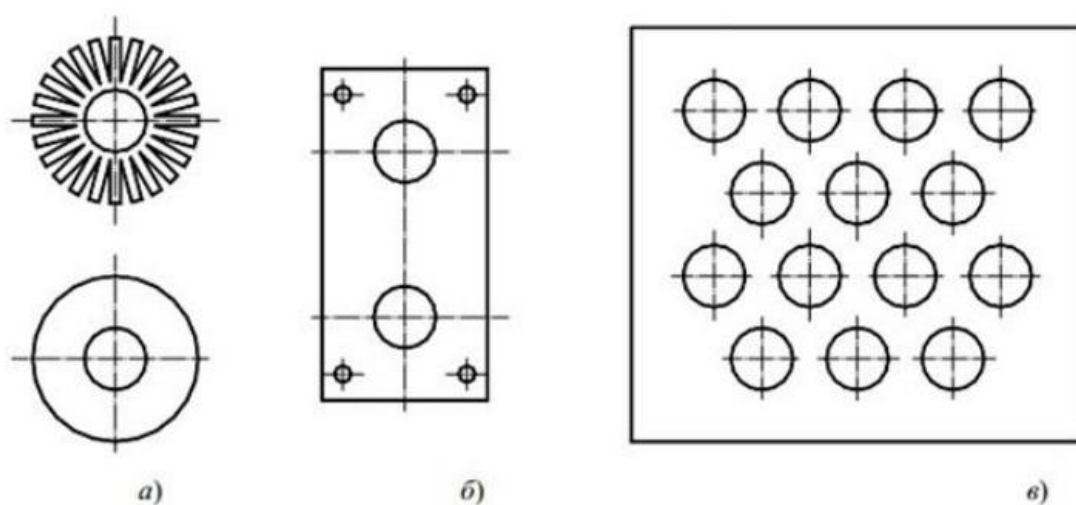


Рисунок 1.4 – Различная геометрия ребра: а – круглые ребра; б – прямоугольные ребра; в – прямоугольные ребра для пучков труб

Известно, что оребрение может изготавливаться различными способами: навивкой ленты в виде спирали вокруг трубы, запрессовкой пластин круглой или прямоугольной формы в неглубокие пазы на наружной поверхности трубы, приваркой или пайкой ребер, или стерженьков к трубе (рис. 1.5). Однако во всех приведенных случаях наблюдается ухудшение сцепления ребра с поверхностью трубы из-за явлений коррозии, особенно если ребра и основная труба изготовлены из разных материалов. Кроме того, указанные способы установки ребер характеризуются высокой трудоемкостью [5].

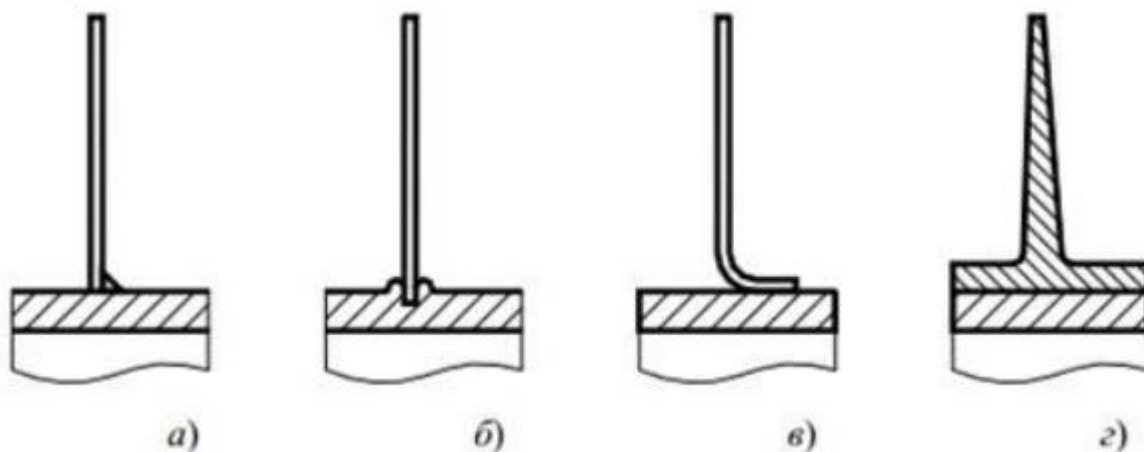


Рисунок 1.5 – Способы крепления оребрения на трубах:

а – приварка и пайка плоских ребер; б – установка ребер в пазы; в – приварка L – образных ребер; г – выдавленные или накатанные ребра

В настоящее время наиболее практичными и технологичными являются оребренные трубы, изготавливаемые из сплошной толстостенной трубы (как правило, из алюминия или алюминиевых сплавов), подвергнутой механической обработке. Ребра нарезаются при пропускании трубы через ряд формовочных дисков. Процесс оребрения труб методом поперечно-винтового накатывания имеет высокую производительность, хорошо поддается механизации и автоматизации [7]. Оребрение другими способами не превышает 10 – 15% объема производства.

Внутри оребренной трубы может быть установлена внутренняя труба из любого требуемого для теплоносителя материала, при этом обеспечивается плотная посадка между вкладышем и оребренной частью. В этом случае труба является биметаллической. Для всех типов оребренных труб существуют предельные температуры, при превышении которых нарушается контакт между несущей трубой и ребром или оребренной трубой и вкладышем, что ограничивает температурные пределы эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения.

Трубы для стандартизованных отечественных аппаратов воздушного охлаждения имеют наружное оребрение двух типов исполнения.

– биметаллическая труба, состоящая из внутренней гладкой (стальной или латунной) и наружной (алюминиевой) с накатанным винтовым ребром (рис. 1.6, а): исполнение Б;

– монометаллическая (алюминиевая) труба с накатанным винтовым (спиральным) ребром (рис. 1.6, б): исполнение М.

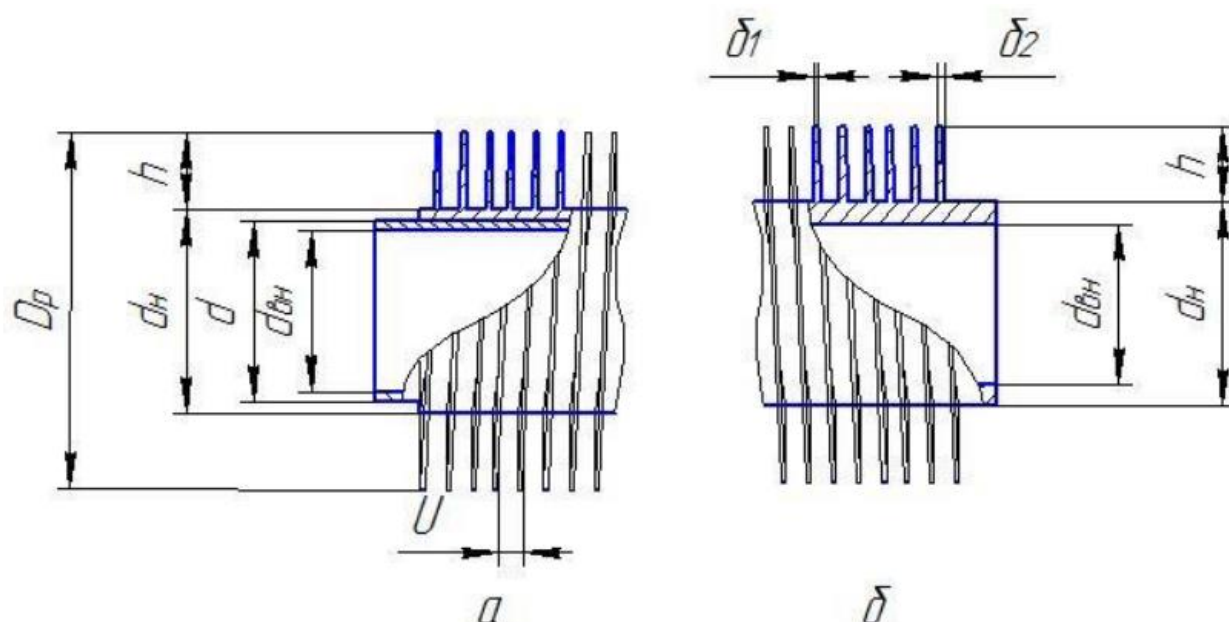


Рисунок 1.6 – Геометрические параметры оребренных трубы:

а – биметаллическая труба; б – монометаллическая труба.

В зависимости от вида материала оребренных труб различают варианты исполнения аппарата – Б1, Б2, Б3, Б4, Б5, М1У, М1А. Материалы, применяемые для изготовления аппаратов, приведены в табл. П.1,2. Аппараты материального исполнения М1А изготавливаются только для невзрыво- и непожароопасных, а также не обладающих токсичностью сред.

1.4 Вентиляторы

Вторым необходимым элементом любого типа АВО является вентилятор (рис. 1.7), который, вращаясь в полости коллектора, нагнетает воздух через межтрубное пространство секций. Значительные расходы воздуха в аппаратах воздушного охлаждения при сравнительно небольшом статическом напоре (100 - 400 Па) обеспечиваются осевыми вентиляторами с числом лопастей 4, 6 и 8 и диаметром 0,8 - 6,0 м. Лопасты вентилятора закрыты

цилиндрическим коллектором, служащим для лучшей организации движения воздушного потока. Коллектор соединяется с теплообменными секциями посредством диффузора, форма которого способствует выравниванию потока воздуха по сечению теплообменной секции. Диффузор и коллектор вентилятора крепятся к раме, на которой установлены теплообменные секции. Осевой вентилятор с приводом смонтирован на отдельной раме [5]. В связи с переменным характером нагрузки аппарата, зависящей от технологического режима, температуры и влажности воздуха, вентиляторы 16 должны иметь возможность регулирования расхода воздуха в широком диапазоне.



Рисунок 1.7 – Вентилятор АВО

В связи с переменным характером нагрузки аппарата, зависящей от технологического режима, температуры и влажности воздуха, вентиляторы должны иметь возможность регулирования расхода воздуха в широком диапазоне.

Регулирование воздушного охлаждения способствует экономии энергии и сырья, увеличению сроков службы и повышению надежности работы АВО, эффективному ведению технологического процесса. Самой существенной статьей эксплуатационных расходов АВО является электроэнергия, потребляемая приводом вентилятора. При рациональном

регулировании экономия электроэнергии может достигать 60% от потребляемой двигателями при номинальном тепловом потоке.

Система регулирования должна обеспечивать требования технологии независимо от изменения режима работы вентилятора. Регулирование расхода воздуха производится несколькими способами:

- изменением частоты вращения вентиляторов;
- перепуском части технологического потока по байпасным линиям через регулирующие клапаны.

Наиболее распространенным способом регулирования является изменение расхода охлаждающего воздуха, которое осуществляется:

- путем регулирования расхода воздуха изменением числа оборотов является наиболее практичным и экономичным способом;

- путем регулирования угла поворота лопастей вентилятора. Применяются колеса с углом установки лопастей от 10 до 30°. Изменение угла производится вручную при остановленном вентиляторе переустановкой каждой лопасти отдельно или автоматически при использовании пневматического или электромеханического привода. Ступенчатое изменение угла поворота лопастей с остановкой вентилятора предусматривают для сезонного регулирования. Возможность автоматического непрерывного изменения угла поворота лопастей позволяет осуществить оптимальное регулирование, при котором положение лопасти в каждый момент времени соответствует определенной температуре воздуха. Автоматическое регулирование позволяет поддерживать выходную температуру охлаждаемого продукта с точностью до $\pm 1^{\circ}\text{C}$;

- установкой специальных жалюзийных устройств, располагаемых как до вентилятора, так и после теплообменных секций. Жалюзийные устройства могут снабжаться ручным или пневматическим приводом. При повороте жалюзийных элементов уменьшается расход воздуха и увеличивается диапазон рабочих режимов. Несмотря на то что использование жалюзи является самым распространенным способом регулирования расхода

воздуха, оно не обеспечивает экономии энергетических затрат, так как создается дополнительное аэродинамическое сопротивление на пути воздуха, даже при полном открытии регулировочного устройства. Кроме того, такое регулирование сопровождается снижением КПД вентилятора. В отдельных случаях мощность, потребляемая электродвигателем из сети, может снижаться на 10 – 20%, но не исключено ее увеличение.

В современных конструкциях АВО применяют совместное регулирование несколькими способами, сочетание которых дает возможность обеспечить экономию электроэнергии и стабилизацию выходной температуры [5].

Система регулирования должна обеспечивать требования технологии независимо от изменения режима работы вентилятора. Регулирование расхода воздуха производится несколькими способами:

1. изменением расхода охлаждающего воздуха, подаваемого в теплообменные секции;
2. подогревом воздуха (в зимний период) на входе в АВО;
3. перепуском части технологического потока по байпасным линиям через регулирующие клапаны;
4. увлажнением охлаждающего воздуха и поверхности теплообмена, позволяющим снизить температуру охлаждающего воздуха при высокой его температуре в летний период.

Наиболее распространенным способом регулирования является изменение расхода охлаждающего воздуха, которое осуществляется:

- путем использования двухскоростных электродвигателей, что позволяет иметь две локальные величины расхода воздуха и третью - 17 минимальную величину при остановленном вентиляторе (в зимний период при низкой температуре окружающего воздуха аппарат может работать с отключенным вентилятором, при этом охлаждение продукта происходит за счет естественной конвекции). Данный способ является наиболее практичным и экономичным;

- путем плавного регулирования скорости вращения вентилятора применением электродвигателя с переменным числом оборотов, гидропривода, гидромуфт, вариатора, коробки скоростей и т.д.;

- путем регулирования угла поворота лопасти вентилятора. Изменение угла производится вручную при остановленном вентиляторе переустановкой каждой лопасти отдельно или автоматически при использовании пневматического или электромеханического привода. Ступенчатое изменение угла поворота лопастей с остановкой вентилятора предусматривают для сезонного регулирования. Автоматическое регулирование позволяет поддерживать выходную температуру охлаждаемого продукта с точностью до ± 1 °С;

- установкой специальных жалюзийных устройств, располагаемых как до вентилятора, так и после теплообменных секций. Жалюзийные устройства могут снабжаться ручным или пневматическим приводом. При повороте жалюзийных элементов уменьшается расход воздуха и увеличивается диапазон рабочих режимов, но при этом такое регулирование сопровождается снижением КПД вентилятора.

В современных конструкциях АВО применяют совместное регулирование несколькими способами, сочетание которых дает возможность обеспечить экономию электроэнергии и стабилизацию выходной температуры.

Вентиляторы могут быть оснащены следующими видами приводов:

- непосредственный (колесо вентилятора установлено на вал электродвигателя с использованием шпоночного соединения);
- с клиноременной передачей;
- редукторный.

Типы приводов приведены на рисунках 1.8 и 1.9.

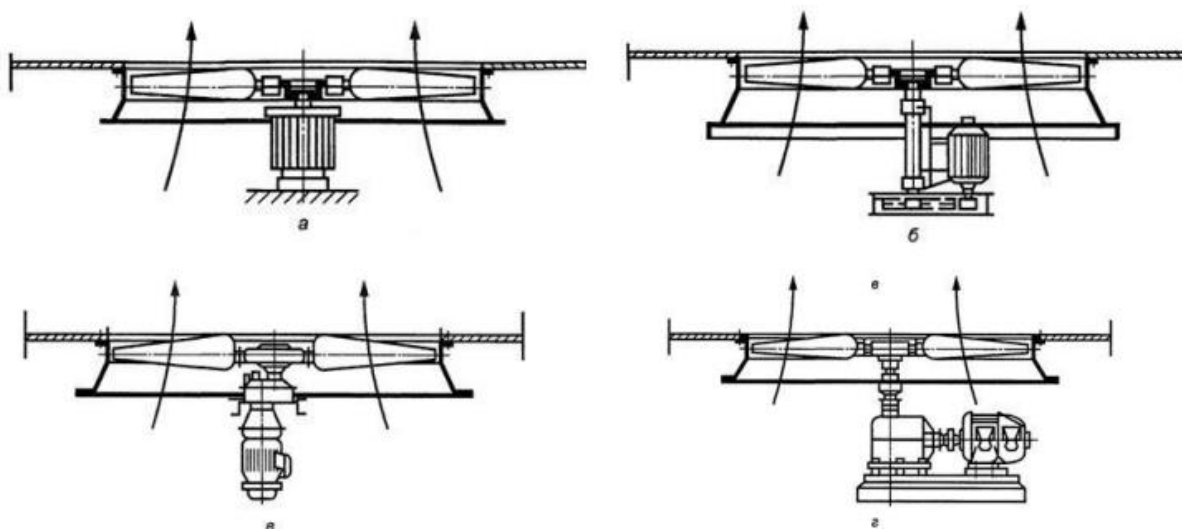


Рисунок 1.8 – приводы аппаратов нагнетательного вида: а - непосредственный; б - клиноременный; в - редуктор с параллельными валами; г - редуктор с перпендикулярными валами

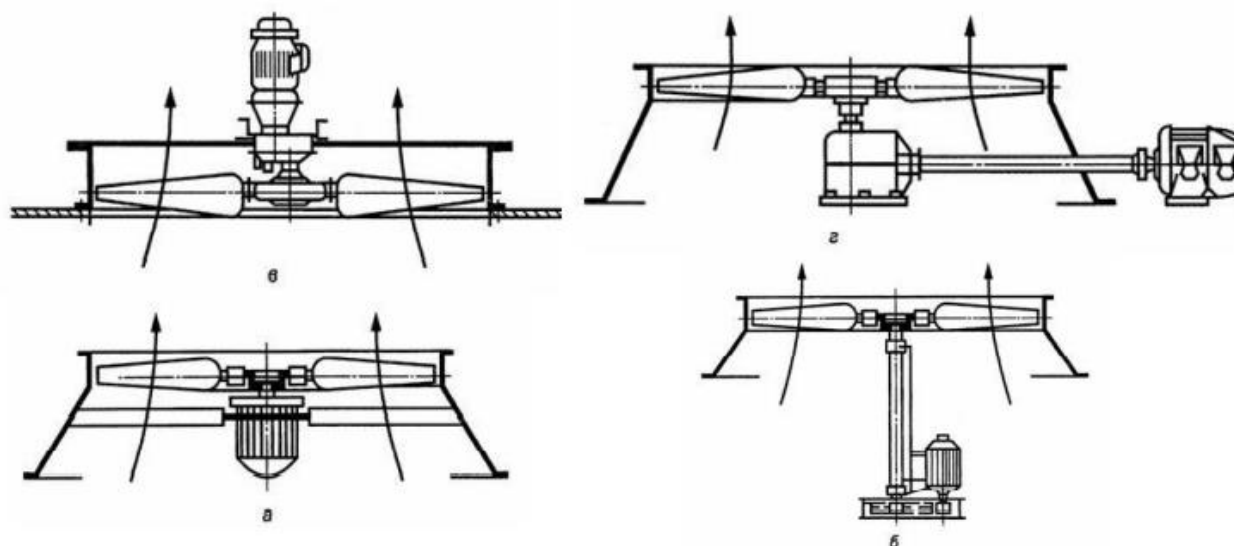


Рисунок 1.9 – приводы аппаратов вытяжного вида: а - непосредственный; б - клиноременный; в - редуктор с параллельными валами; г - редуктор с перпендикулярными валами

1.5 Опорные конструкции

Опорные конструкции, на которых монтируются элементы аппарата, выполняются металлическими или железобетонными. Они включают продольные и поперечные опорные балки, выполняемые, как правило, из стандартных двутавров, стойки (обычно отрезки стандартных труб на опорных пластинах), косынки и ребра жесткости. Стойки смонтированы на фундаменте и закреплены на нем анкерными болтами.

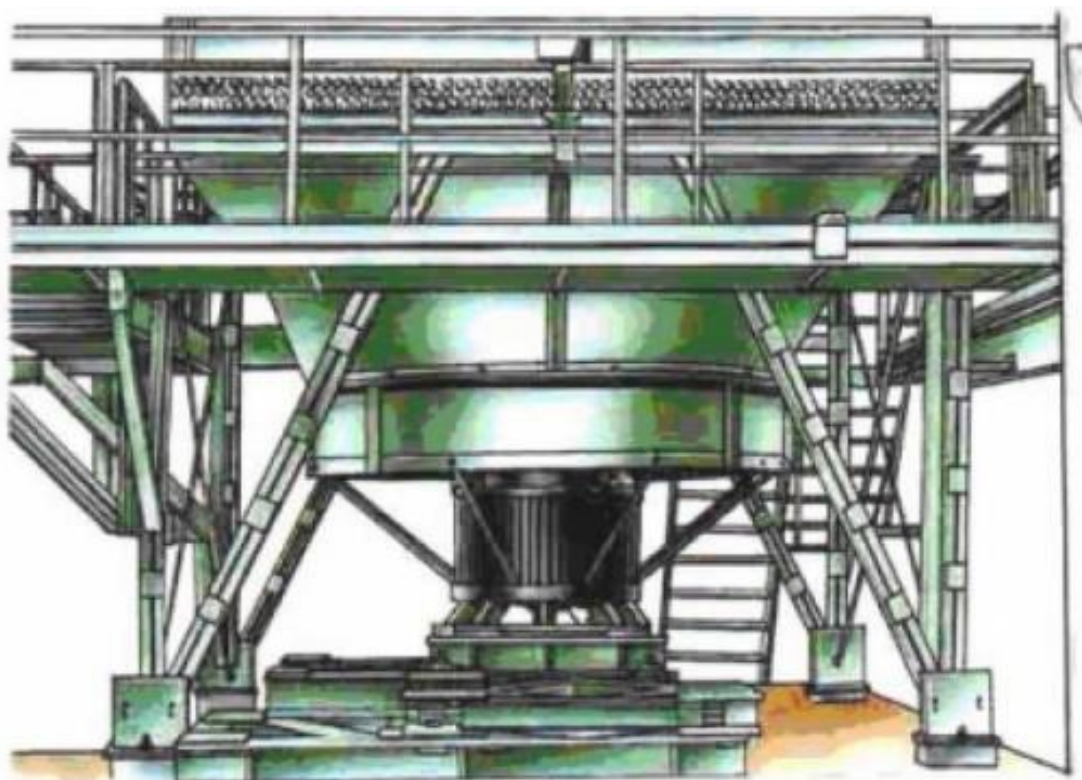


Рисунок 1.10 – Опорные металлоконструкции АВО

1.6 Дополнительные элементы АВО

Жалюзи. Аппараты воздушного охлаждения по желанию заказчика могут быть дополнительно оборудованы системой жалюзи. Жалюзи АВО (рисунок 1.11) выпускают и с ручной регулировкой, и с пневмоприводом поворота заслонок. Аппараты с системой рециркуляции, состоят из панелей, жалюзи верхних, боковых и переточных. Также, в зависимости от аппарата, жалюзи АВО могут комплектоваться устройствами с ручным или пневматическим приводом поворота заслонок, а также увлажнителем и подогревателем воздуха.

Жалюзи предназначены для регулирования работы аппаратов в режиме естественной конвекции с применением регулировки поворота лопаток.



Рисунок 1.11 – Жалюзи АВО

Технические требования к жалюзи соответствуют ГОСТ Р 51364.

Нередко жалюзи АВО используются на объектах газодобычи, где влажность газа остается некоторое время высокой. Для защиты от гидратообразования помогает оборудование, оснащенное жалюзи АВО. Путем изменения положения жалюзи, а также частоты вращения вентиляторов осуществляется защита от гидратообразования. Также жалюзи помогают плавно и точно регулировать температуру газообразных и других веществ на выходе.

Алюминиевые жалюзийные устройства (рис. 1.12) аппаратов воздушного охлаждения (АВО) представляют собой металлоконструкцию, изготовленную из алюминия, удерживающую лопатки жалюзи и обеспечивающую их синхронное перемещение. Жалюзи не являются взрывопожароопасным изделием и не работают под давлением, в процессе работы не вызывают искрообразование.

В качестве преимуществ алюминиевых жалюзийных устройств следует отметить следующие:

- полностью алюминиевая конструкция значительно увеличивает срок службы жалюзийных устройств, а также их безотказную работу на протяжении всего срока эксплуатации;
- изготовление каркаса и лопаток из прессованных алюминиевых профилей обеспечивает жесткость всей конструкции и позволяет сохранить геометрические размеры, необходимые для эффективной работы устройства, даже под воздействием снеговой нагрузки и деформаций во время монтажа и эксплуатации;
- в отличие от обычных жалюзи, предлагаемые алюминиевые жалюзи не требуют покраски и соответственно, кроме эстетического эффекта, значительно упрощают их обслуживание во время эксплуатации за счет экономии средств и времени на обновление защитного лакокрасочного покрытия.

Система рециркуляции воздуха (Р) предназначена для регулирования потоков охлаждающего воздуха при помощи принудительной и естественной конвекции воздуха. Система рециркуляции воздуха состоит из рециркуляционных и переточных камер и жалюзийных решеток, обеспечивающих организацию режимов циркуляции (движения) нагретого в теплообменных секциях воздуха, и служит для предотвращения переохлаждения продукта в зимнее время посредством изменения угла наклона лопаток жалюзи.

Подогреватели воздуха предназначены для предварительного подогрева воздуха, поступающего в теплообменные секции с целью предупреждения переохлаждения продукта в аппаратах АВГ, 2АВГ, АВГ-В. Подогреватели продукта служат для подогрева продукта, находящегося в трубах секции аппаратов АВГ-ВВ.

Вибропреобразователи колебаний предназначены для преобразования механических колебаний в электрические и передачи электрических колебаний на щит управления аппарата к датчику вибрации. Частотный

преобразователь (ЧП), предназначен для дистанционного регулирования скорости вращения колес вентиляторов. Тип ЧП устанавливается в зависимости от технических характеристик электродвигателя.

Таким образом, в результате изучения и оценки существующих конструкций аппаратов воздушного охлаждения по учебной, справочно-нормативной, научно-технической и патентной документации установлено, что существующие конструкции аппаратов не обеспечивают достаточно эффективного охлаждения газа, особенно в условиях высоких температур окружающей среды. Также актуальной задачей является снижение энергозатрат на охлаждение газа АВО при одновременном сохранении производительности при высоких температурах окружающей среды. Поэтому одной из основных задач работы является модернизация конструкции аппарата воздушного охлаждения, а именно разработка наиболее эффективного варианта ребрения биметаллической трубы для обеспечения энергоэффективности.

2 Пути повышение эффективности работы АВО

2.1 Выбор оптимального температурного режима газопровода

Главная причина размещения аппаратов воздушного охлаждения природного газа на компрессорной станции – сохранение антикоррозионной изоляции трубопровода, а также обеспечение его устойчивости. Однако, если рассматривать с другой точки зрения, после охлаждения среды средняя температура метана в участке понижается, вследствие чего происходит повышение пропускной способности газопровода, что способно привести в условиях постоянной производительности к значительному снижению затрат энергии [8].

При недостаточном оснащении станции АВО оценивается необходимость закупки оборудования окупаемостью дополнительных капиталовложений:

$$T = \frac{K_A}{S_1 - S_2},$$

где, K_A – стоимость затрат (капиталовложения) на дополнительное оснащение АВО КС;

S_1 и S_2 – стоимость затрат на энергию до и после оснащения КС.

A_E – затраты электрической энергии на охлаждение метана, кВт·ч:

$$A_E = n_B \cdot N_B \cdot T_B,$$

где, n_B – количество вентиляторов, включенных на всех аппаратах воздушного охлаждения, при котором происходит охлаждение до температуры T_1 ;

N_B – мощность, которая потребляется одним электрическим двигателем, который вращает вентилятор, кВт;

T_B – время работы вентилятора, ч.

Поступающий на компрессорную станцию с температурой T_2 метан в процессе компримирования способен нагреваться до некоторой температуры T_H :

$$T_H = T_2 \cdot \varepsilon_H^{\frac{k-1}{k-\eta_n}}$$

После прохождения аппаратов воздушного охлаждения метан понижает свою температуру до соответствующего значения, определяемого:

$$T_1 = T_H - Q_0 \cdot K_{A2} \cdot \frac{n_2 + k_{A1} \cdot n_1 + k_{A0} \cdot n_0}{G \cdot c_{pm}}$$

где, Q_0 – теоретический теплосъем с одного аппарата при двух работающих вентиляторах, Вт;

k_{A2} , k_{A1} , k_{A0} – коэффициенты тепловой эффективности аппарата при двух, одном и ни одном работающих вентиляторах соответственно;

n_2 , n_1 , n_0 – количество аппаратов, включенных в работу с двумя, одним и ни одним вентиляторами;

G – массовый расход метана через все аппараты воздушного охлаждения, кг/с;

c_{pm} – теплоемкость метана при условиях охлаждения, Дж/(кг·К) при $P = P_H$, $T = 0,5 \cdot (T_H + T_1)$, здесь T_1 – температура метана на выходе узла охлаждения.

Как правило, теплосъем определяется по номограмме теплового расчета аппарата воздушного охлаждения, при этом важно знать коэффициент ϕ . В этом случае $Q_0 = c_p \cdot G_1 \cdot (T_H - T_1)$ и $k_{A2} = 1$. Коэффициенты k_{A2} и k_{A0} определяются на основе практической эксплуатации узла охлаждения метана. В основном, после первого приближения $k_{A1} = 0,55 - 0,60$; $k_{A0} = 0,18 - 0,20$.

Поскольку регулирование температуры осуществляется на основе поочередного отключения сначала одного вентилятора на всех аппаратах, и только лишь после этого происходит отключение вторых вентиляторов; для того, чтобы определить схему целесообразной эксплуатации для максимального удобства принято пользоваться средним коэффициентом эффективности:

$$k_{cp} = \frac{c_p \cdot G_1 \cdot (T_H + T_1)}{n \cdot Q_0},$$

где n – количество включенных на компрессорной станции аппаратов воздушного охлаждения.

Таким образом, величина k_{cp} определяет режим эксплуатации:

$k_{cp} \geq 1$, тогда $n = n_2$;

$1 > k_{cp} > 0,6$; тогда $n = n_1 + n_2$;

$0,6 > k_{cp} > 0,2$; тогда $n = n_1 + n_0$;

$k_{cp} \leq 0,2$; тогда $n = n_0$.

Схема подключения аппаратов в условии минимизации затрачиваемой электрической энергии для задания оптимального температурного режима компрессорной станции подразумевает следующую температуру природного газа на выходе со станции: не превышающую 50°C , поскольку температура грунта, близкая к 0°C при отрицательной температуре газа вызывает промерзание земельных угодий.

2.2 Изменение углов атаки лопастей вентилятора

Одним из способов повышения энергоэффективности аппарата воздушного охлаждения является изменение углов атаки лопастей вентиляторов. Данная технология позволяет выставить угол атаки лопастей в зависимости от среднегодовой температуры. Регулировка лопастей вентилятора обеспечивает экономию электроэнергии до 10%. Но данная технология достаточно небезопасна – непосредственная правка положения лопастей является достаточно сложным и травмоопасным мероприятием, поэтому применение данной технологии крайне нежелательно.

При помощи изменения углов атаки лопастей вентилятора сокращают затрачиваемую электроэнергию на электродвигателях секций аппарата воздушного охлаждения. В целях согласования мощности, которую потребляет вентилятор, с располагаемой мощностью электродвигателя перестраиваются лопасти 1 раз в полгода (сезонно) – весной и осенью. Помимо того, что операция перестройки лопастей вентилятора крайне опасна, она требует серьезной организации работ, а также технических мероприятий обеспечения безопасности жизни и здоровья сотрудников.

2.3 Применение частотно-регулируемого привода

Важнейшей частью работы установки охлаждения газа является электропривод. Благодаря его работе вентилятор на АВО работает, прокачивая

воздух для теплообмена. На производстве в основном используются в качестве приводов асинхронные двигатели (АД) [9].

Так как электропривод потребляет большое количество энергии, внедрение передовых технологий поможет не только сократить энергопотребление привода, но и продлить срок его службы.

Одной из таких технологий является внедрение привода, регулирующего скорость вращения вентиляторов (частотно-регулируемого привода).

Данная технология применяется для поддержания точной температуры природного газа на выходе с узла очистки станции. Принцип заключается в использовании термодатчика, способного поддерживать оптимальную температуру частотным регулированием – производительностью включенных в систему вентиляторов. Частота регулируется при помощи преобразователя частоты (ПЧ), созданного на базе микропроцессорного контроллера [10]. Также при использовании этой технологии не требуется выполнять сложные и менее эффективные работы по регулировке угла атаки лопастей, так как лопасти настраиваются на угол, при котором электродвигатель будет работать в номинальном режиме. Также с использованием частотного регулирования можно избежать рециркуляцию, так как все вентиляторы работают с требуемой величиной вращения. Частотное регулирование скорости вращения вентилятора даёт экономию энергии в 20%, что дает основания говорить о высокой эффективности данной технологии.

2.4 Совершенствование системы очистки оребренных поверхностей трубных пучков

Периодическая очистка наружных поверхностей теплообменных секций является частью работ по техническому обслуживанию аппаратов воздушного охлаждения газа. Периодичность и объем выполнения этих операций определяют в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Плановая очистка поверхностей охлаждения АВО газа на КС, как правило, проводится 1 раз в год перед началом теплого сезона.

Проверка чистоты оребрений должна включать в себя даты последней и очередной промывки/пропарки. Проверка актов, оформленных по факту последней промывки/пропарки, достоверности данных в указанных актах, проверка наличия в актах расчетов повышения эффективности работы АВОГ после очистки, после расчетов. Визуальный осмотр чистоты оребрений секции.

Во время работы АВО возможно загрязнение трубного и межтрубного пространства, в особенности в аппаратах с высоким коэффициентом оребрения (от 20 до 23). Коэффициент теплопередачи при таких загрязнениях может снизиться в 2 раза. Следовательно, для понижения температуры газа на выходе из КС до требуемой необходимо задействовать большее количество вентиляторов, что приводит к большим энергозатратам.

Поверхность трубных пучков в основном загрязняется пылью, пылью и семенами растений. Возможны загрязнения солевыми отложениями из-за испарения влаги. Отложения солей жесткости (солей кальция и магния) на наружной поверхности труб возникают вследствие испарения конденсируемой влаги. Коррозия металлических наружных и внутренних поверхностей теплообменников аппаратов воздушного охлаждения и как следствие возникновение ржавчины также является проблемой, препятствующей эффективной работоспособности аппарата.

В настоящее время очистку межтрубного пространства производят несколькими способами:

- 1) Гидродинамическая очистка;
- 2) Пропарка;
- 3) Пескоструйная очистка;
- 4) Химическая очистка.

Все указанные способы очистки имеют один большой недостаток, а именно непосредственное участие человека при проведении данной работы, так как очистка производится вручную с остановкой аппарата. Гидродинамическая очистка обеспечивает от 20 до 50 % отмыва пыли и

практически не помогает от пылицы и растительности. Пропарка приводит к спеканию и уплотнению загрязнений межтрубного пространства. Высокие давления при проведении гидродинамической очистки и пропарке являются опасными для человека и оребрения пучков. Химическая очистка отличается дороговизной и трудоемкостью. При проведении всех вышеперечисленных способов очистки велика вероятность повреждения оребрения трубных пучков, так как слишком сильная струя или касание распылителем приводит к деформации оребрения.

В качестве альтернативы ручной очистки трубных секций существуют прототипы, патенты автоматизированных систем очистки без участия человека и вывода аппарата воздушного охлаждения из работы.

В патенте № 2 675 913 «Способ очистки наружной поверхности теплообменных труб аппаратов воздушного охлаждения» [11] предлагается способ очистки наружной поверхности теплообменных труб аппаратов воздушного охлаждения. Предлагается под теплообменными секциями размещать секции труб с распылительными форсунками. С помощью дополнительной очистительной секции, установленной вертикально вдоль длинной стороны теплообменной секции аппарата, осуществляют подачу очистителя в горизонтальном направлении, перпендикулярно соединительным трубным решеткам. Через дополнительную очистительную секцию также осуществляют дифференцированное по температуре нагрева регулирование степени увлажнения воздуха по рядам оребренных теплообменных труб аппарата воздушного охлаждения с помощью управляемых форсунок, установленных на трубах дополнительной очистительной секции. На рисунках 2.1 и 2.2 представлена данная система.

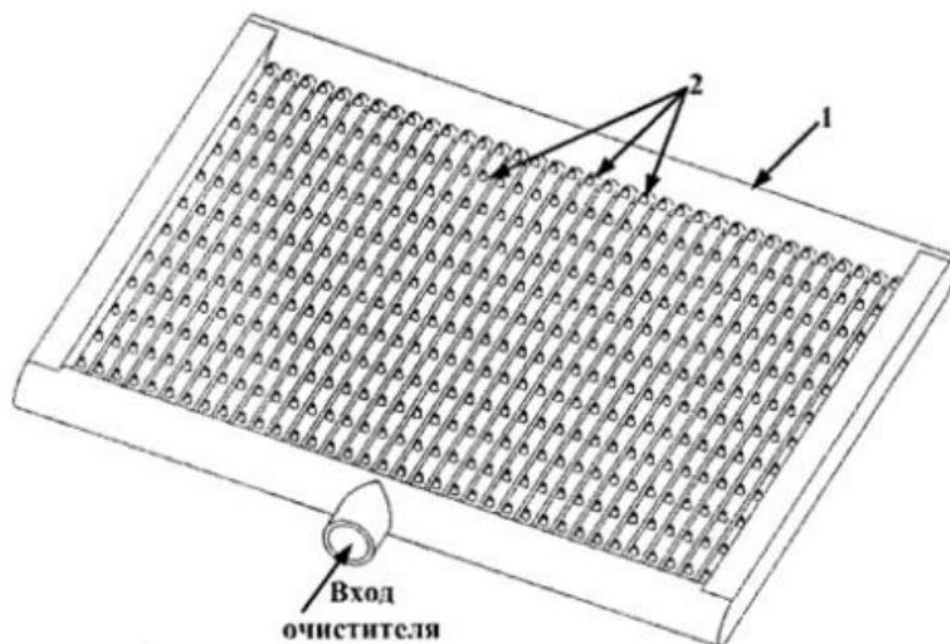


Рисунок 2.1 – Очистительная секция из труб с форсунками:
1 – очистительная секция; 2 – форсунки.

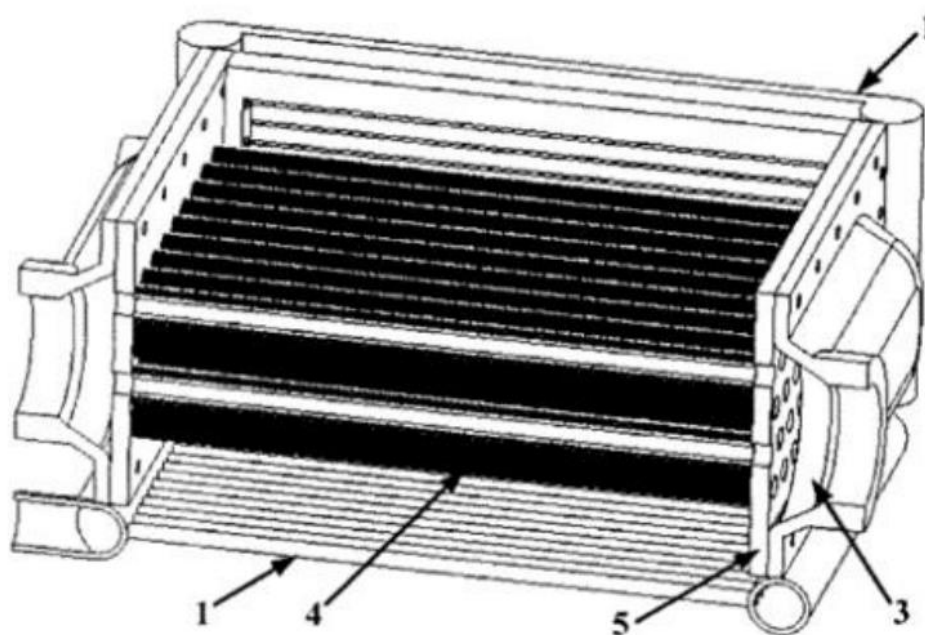


Рисунок 2.2 – Дополнительная очистительная секция: 1 – очистительная секция; 3 – теплообменные секции; 4 – теплообменные трубы; 5 – соединительные трубные решетки

В качестве очистителя в предлагаемом способе используется горячая вода или пар. При этом вода из системы водоснабжения подогревается в

теплообменнике теплом выхлопных газов газотурбинного или газопоршневого перекачивающего агрегата. Получившийся пар или горячая вода через систему трубопроводов подается в очистительные секции 1 и через распылительные форсунки 2 оmyвает ребреные теплообменные трубы 4 с двух сторон снизу и сбоку в вертикальном и в горизонтальном направлениях, либо поочередно, либо одновременно. В процессе двухсторонней обработки повышается эффективность и качество очистки ребренных теплообменных труб 4, причем, данная процедура очистки производится без остановки АВО, что также свидетельствует об эффективности предлагаемой технологии очистки. Вместе с тем, при реализации способа имеется возможность выбора параметров чистки и ее периодичности с помощью программы, в зависимости от параметров АВО, температуры газа, окружающей среды.

Чистка межтрубного пространства вручную является трудоемким процессом и имеет очень низкую эффективность, а также является травмоопасным процессом, поэтому совершенствования системы очистки ребренных поверхностей трубных пучков является актуальным вопросом.

3 Построение САЕ – модели L и LL – образного оребрения стальной несущей трубы, алюминием и магниевым сплавом

Построение САЕ-модели:

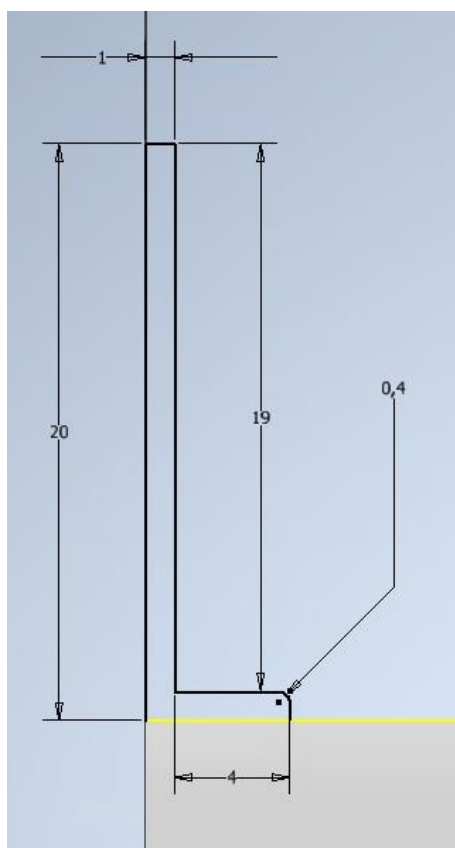


Рис. 3.1 L-образное оребрение

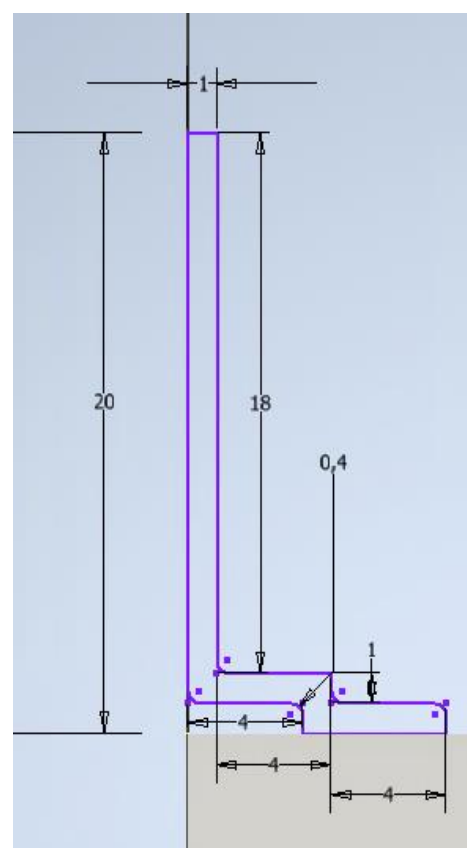


Рис. 3.2 LL-образное оребрение

3.1 Выбор наиболее эффективного варианта оребрения воспринимающего относительно высокие по величине тепловые нагрузки

Для решения задачи рассмотрим варианты L и LL – образное оребрение теплообменной трубы.

Таблица 3.1 – Исходные данные:

Параметр	Значение
Диаметр трубы, мм	32
Толщина стенки трубы, мм	2,5

Высота оребрения, мм	20
Толщина оребрения, мм	1
Шаг, мм	5

Материалы несущей стальной трубы представлен на рисунке 3.3 [12].

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Strain-Life Parameters				
20	S-N Curve	Tabular			
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹		
29	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹		
30	Isotropic Relative Permeability	10000			
31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m		

Рисунок 3.3 – свойство материала сталь 20

Таблица 3.2 – Характеристики алюминия, использованного в Steady State Thermal (Ansys Workbench) в соответствии с ГОСТ-550-75

Материал изготовления	Свойство материала	Величина
Алюминий	Изотропная теплопроводность, Вт/(м·°С)	52
	Плотность, кг/м ³	7850
	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С)	490
	Предел прочности на разрыв, МПа	413
	Предел текучести при сжатии, МПа	255
	Предел прочности при растяжении, МПа	413

	Изотропное удельное сопротивление, Ом·м	$2,2 \cdot 10^{-7}$
--	---	---------------------

Таблица 3.3 – Характеристики магниевого сплава, использованного в Steady State Thermal (Ansys Workbench)

Материал изготовления	Свойство материала	Величина
Магниевый сплав	Изотропная теплопроводность, Вт/(м·°С)	156
	Плотность, кг/м ³	1800
	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С)	1024
	Предел прочности на разрыв, МПа	193
	Предел текучести при сжатии, МПа	193
	Предел прочности при растяжении, МПа	55
	Изотропное удельное сопротивление, Ом·м	$7,7 \cdot 10^{-7}$

3.2 Решение задачи

В целях повышения эффективности работы АВО была построена модель оребренной трубы с использованием программного комплекса «Ansys». В таблице 3.4 представлены основные характеристики модели.

Таблица 3.4 – Характеристика разработанной модели

Наименование параметра	Характеристика параметра
Расчетное рабочее давление, МПа	12,0
Расчетная температура стенки теплообменной секции, °С	100
Минимально допустимая температура стенки блоков, °С	Минус 60

Рабочая среда	Природный газ, взрывопожароопасная, малокоррозионная, нетоксичная
Материал изготовления трубок теплообменных	Сталь 20
Наработка аппарата на отказ, ч	35 000
Ресурс до капитального ремонта, ч	150 000
Назначенный срок службы, лет	30

Для внутренней части трубы прикладывалась температура газа 33°C.

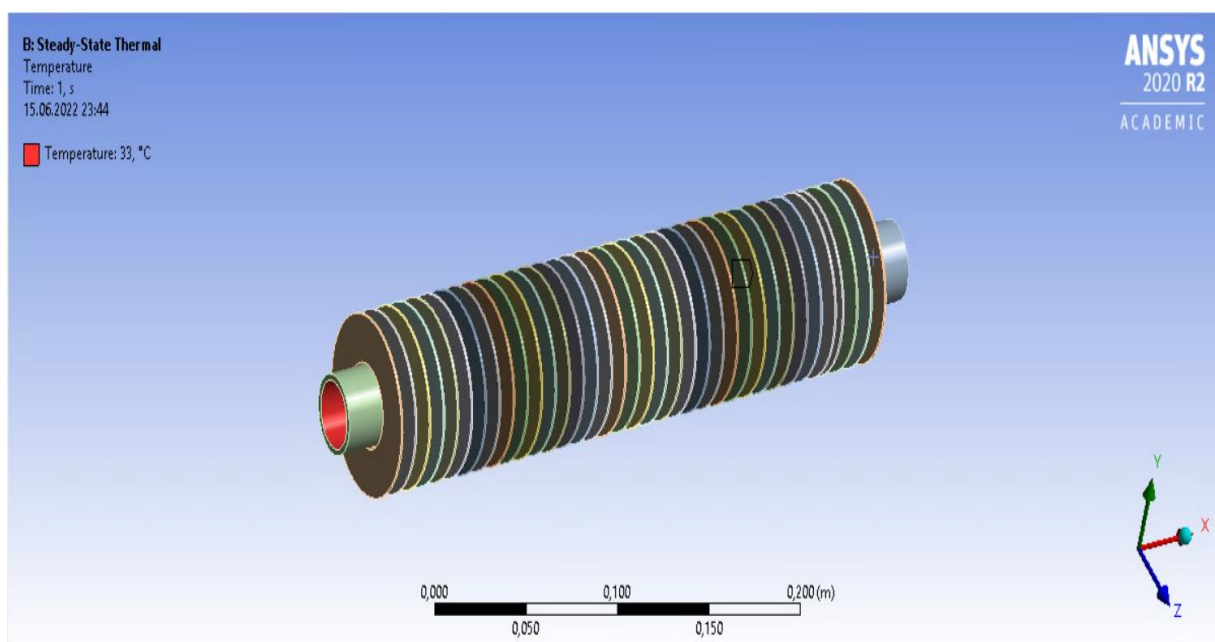


Рисунок 3.4 – приложенная температура к внутренней части трубы, равная 33 °С.

Для наружной ребристой стороны прикладывались условия температуры 22 °С и конвекции:

- алюминия 148 Вт/(м²·°С);
- магния 156 Вт/(м²·°С).

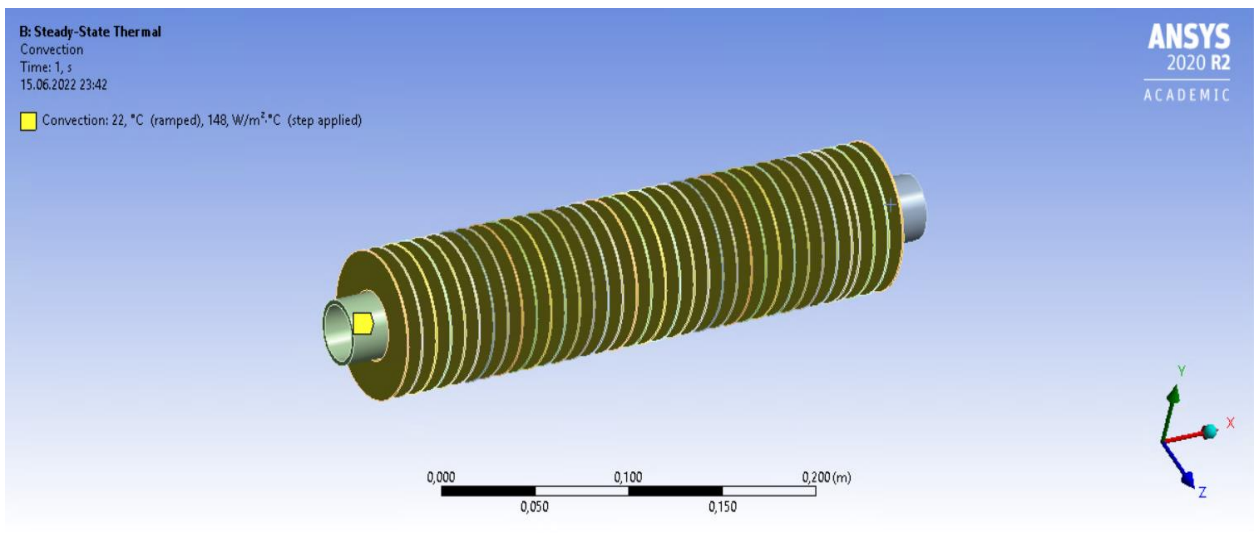


Рисунок 3.5 – Температура окружающей среды и конвекция для наружной ребристой стороны.

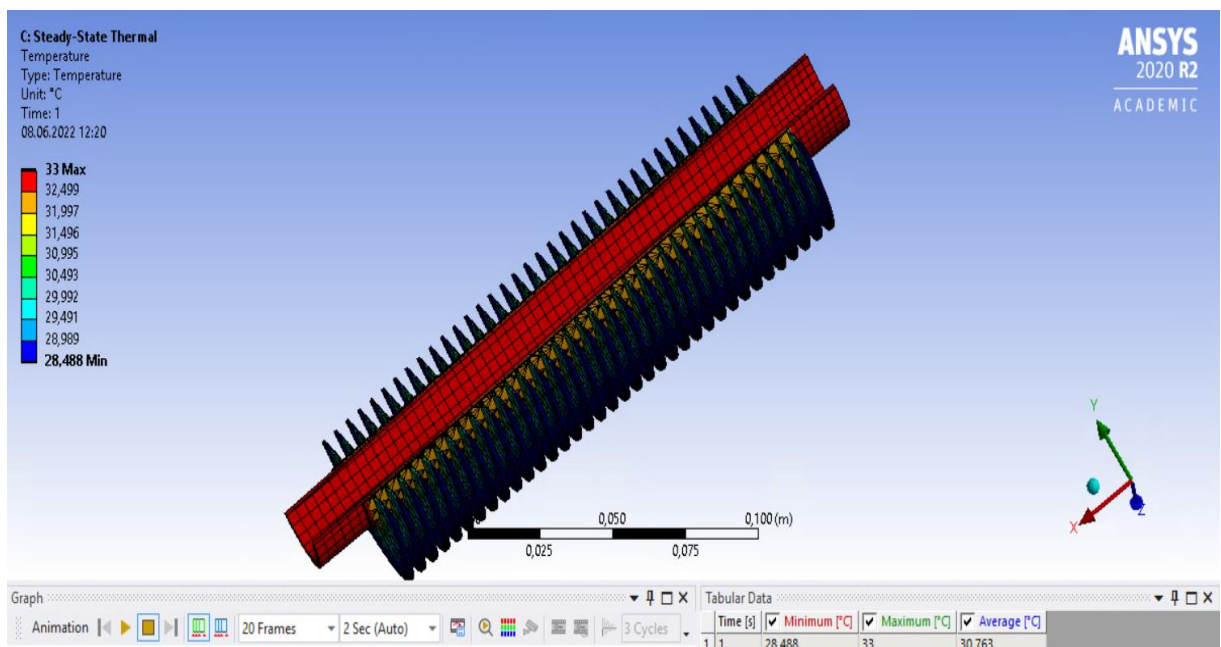


Рисунок 3.6 – Температурное поле L – образной ребренной алюминием трубки теплообменной секции

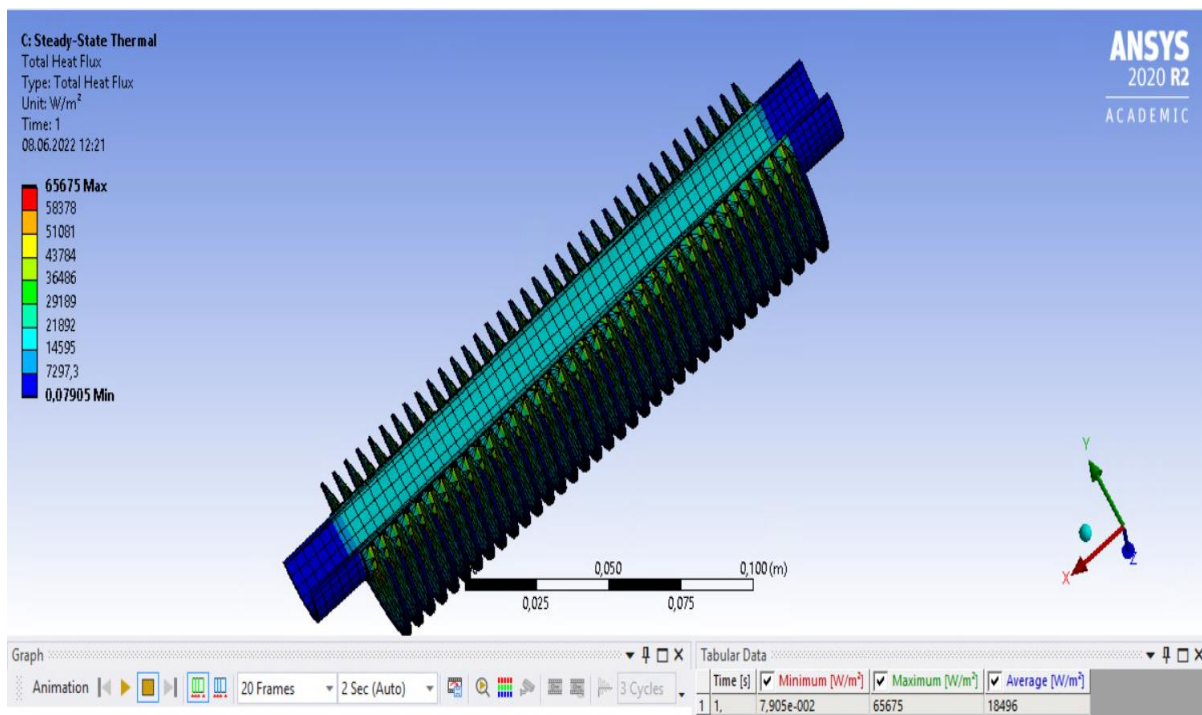


Рисунок 3.7 – Распределение теплового потока для L – образной оребренной трубы алюминием. Максимальный удельный тепловой поток составил 65,675 (кВт/м²)

Следующим материалом оребрения стальной трубы возьмем магниевый сплав.

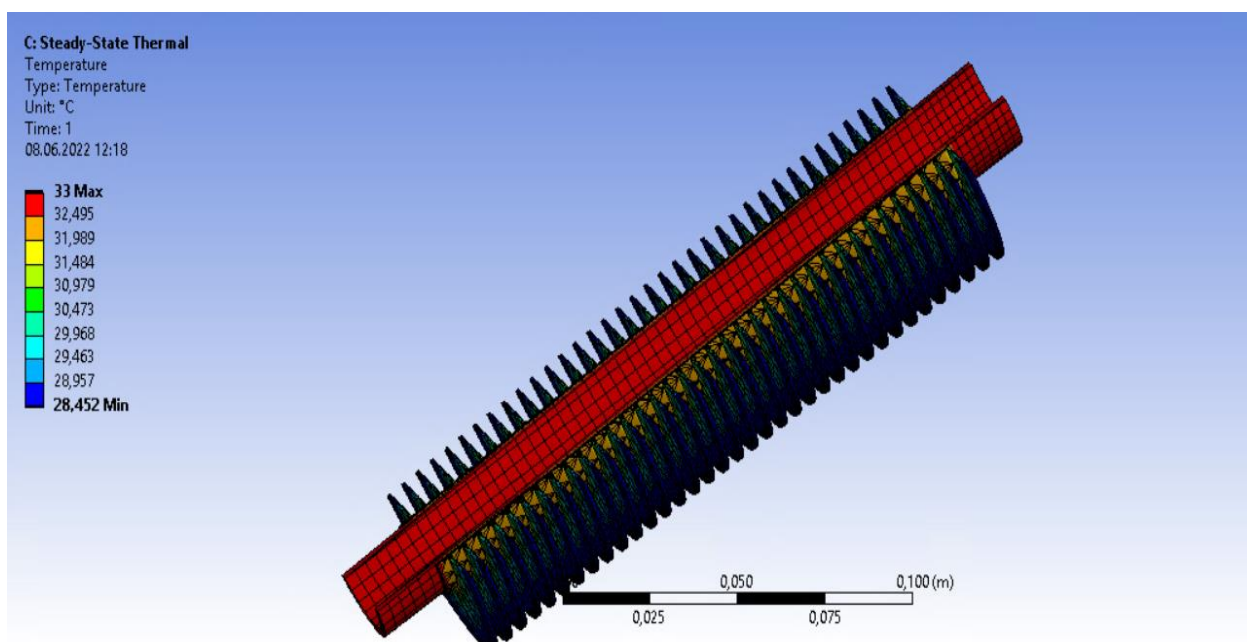


Рисунок 3.8 - Температурное поле L – образной трубы, оребренной магниевым сплавом

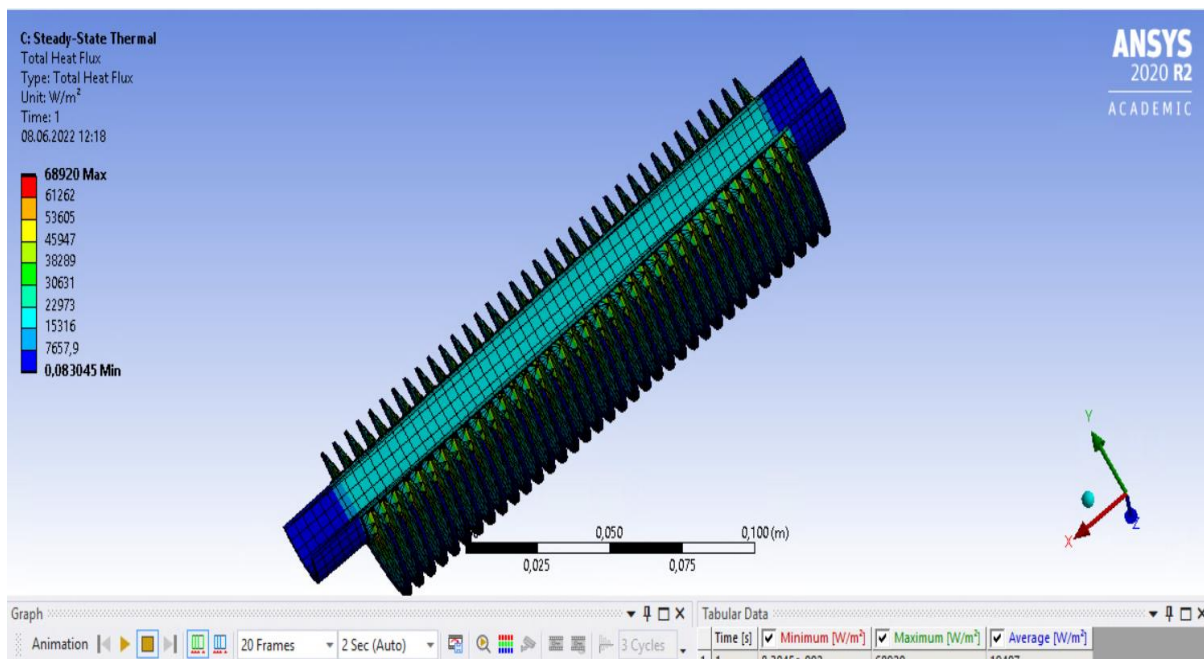


Рисунок 3.9 – Распределение теплового потока L – образного оребрения магниевым сплавом. Максимальный удельный тепловой поток составил 68,920 (кВт/м²)

Далее рассмотрим LL – образное оребрение несущей трубы алюминием и магниевым сплавом.

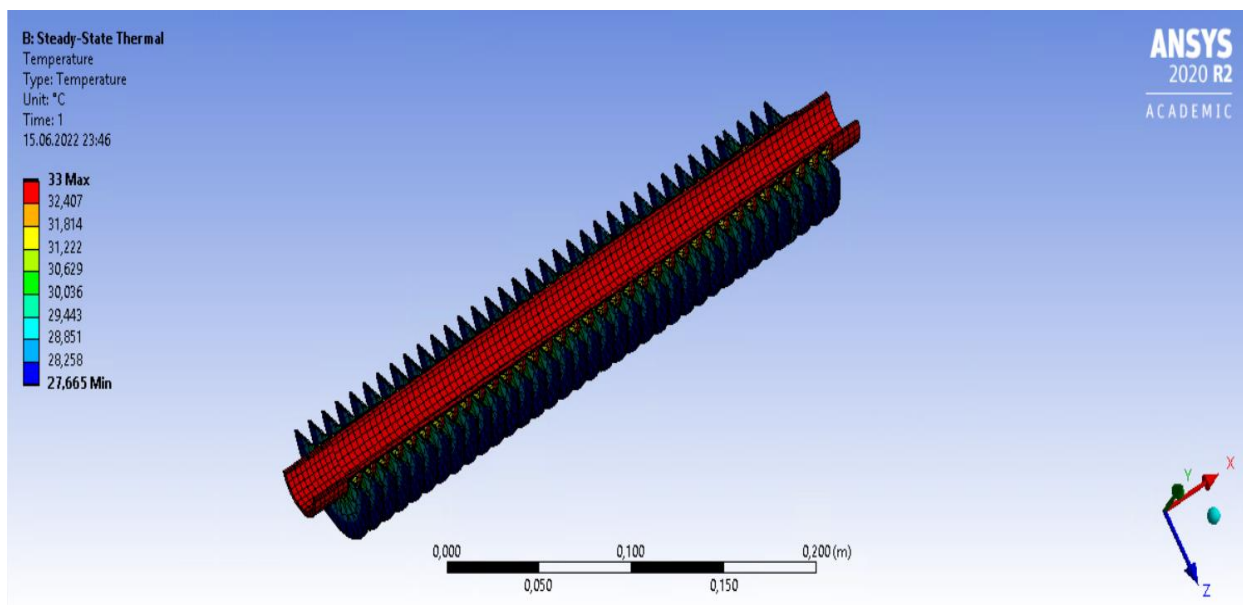


Рисунок 3.10 – Температурное поле LL – образного оребрения трубы алюминием

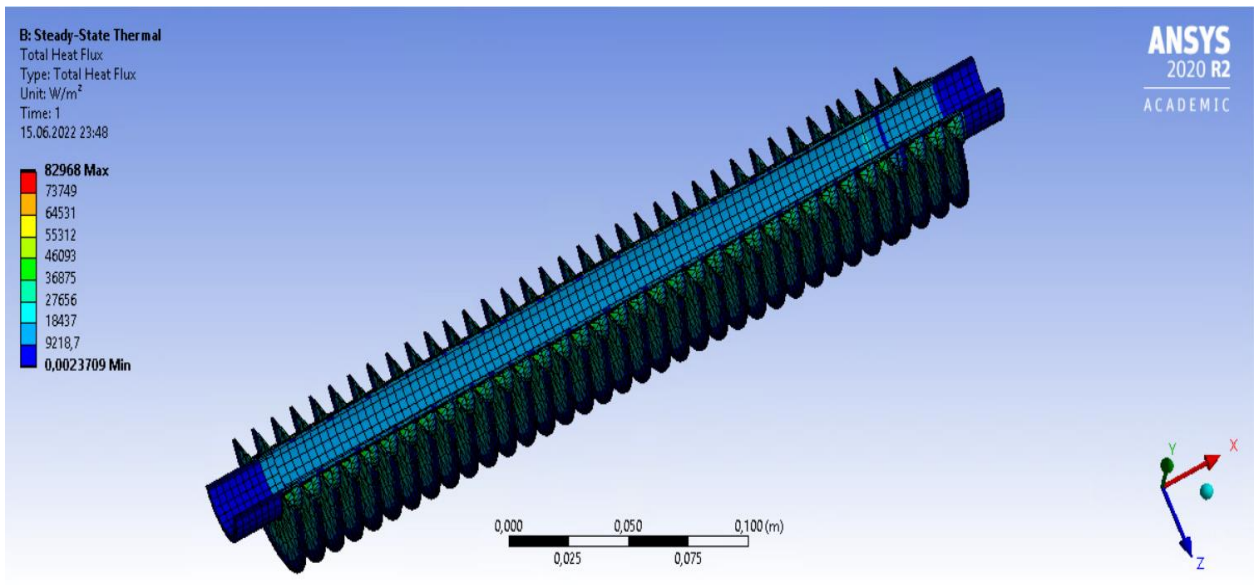


Рисунок 3.11 - Распределение теплового потока LL – образного оребрения трубы алюминием. Максимальный удельный тепловой поток составил 82,968 (кВт/м²)

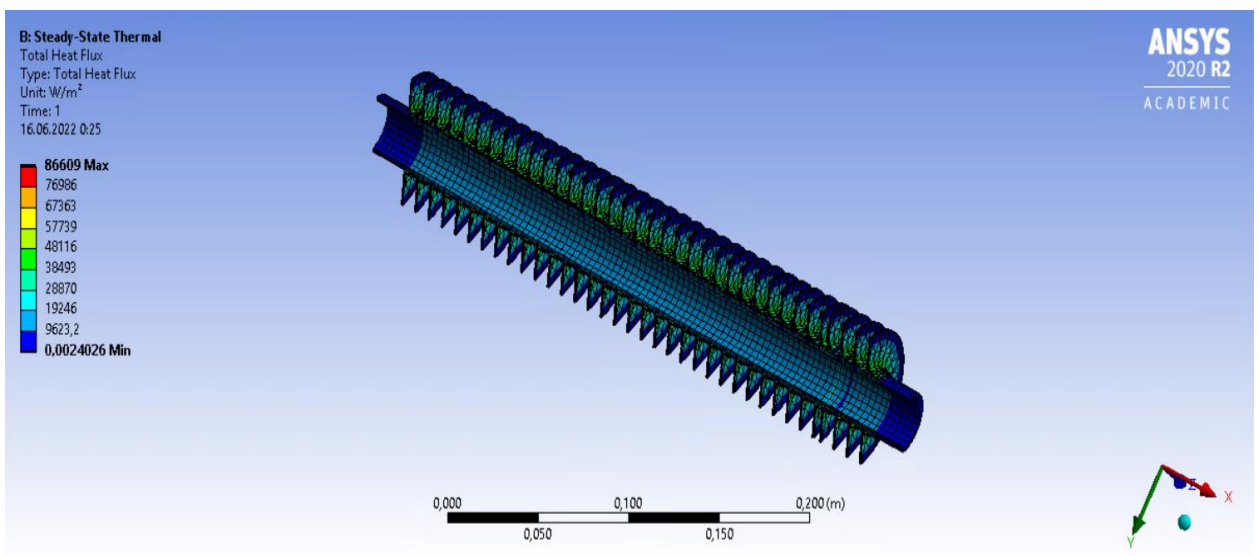


Рисунок 3.12 – Распределение теплового потока LL – образного оребрения трубы магниевым сплавом. Максимальный удельный тепловой поток составил 86,609 (кВт/м²)

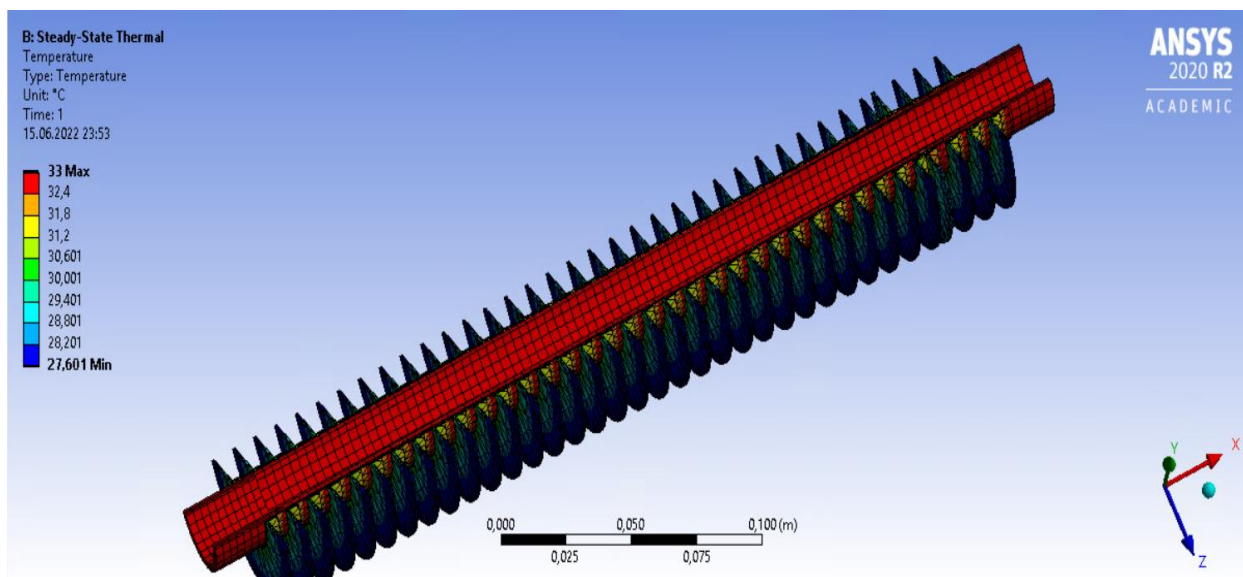


Рисунок 3.13 – Температурное поле LL – образного оребрения трубы магниевым сплавом

В таблице 3.5 приведен сравнительный анализ результатов моделирования.

Таблица 3.5 – Сравнительный анализ результатов исследования

Тип трубы	Температура поверхности оребрения, °C	Удельный тепловой поток, кВт/м ²
L-образное оребрение алюминием	28,49	65,68
LL-образное оребрение алюминием	27,66	82,97
L-образное оребрение магниевым сплавом	28,45	68,92
LL-образное оребрение магниевым сплавом	27,60	86,61

Вывод: Сравнивая два варианта оребрения, приходим к выводу, что наиболее эффективным вариантом является LL – образное оребрение трубы, магниевым сплавом. Таким образом, при выборе LL образного оребрения трубы, магниевым сплавом (Максимальный удельный тепловой поток 86,61 (кВт/м²)) по отношению к L образному оребрению трубы, магниевым сплавом (Максимальный удельный тепловой поток 68,92 (кВт/м²)) эффективность

теплопереноса будет выше на 25,6 % и температура будет распределяться на 3 % эффективнее.

4 Тепловой расчет АВО газа

Исходные данные теплового расчета АВО приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – 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	33
Давление газа P_1	МПа	10,0
Температура воздуха на входе в аппарат τ_1	°С	-7,8
Расход воздуха (производительность вентилятора)	м ³ /с	44,4 4
Коэффициент оребрения ϕ	-	25
Диаметр оребрения D_{op}	мм	55
Наружный диаметр трубок d_n	мм	25
Внутренний диаметр трубок $d_{вн}$	мм	21
Высота ребра h	мм	15
Толщина ребра δ	мм	0,33
Шаг ребер t	мм	2,5
Теплопроводность ребер λ	Вт/(м·К)	156

Для расчета АВО был принят аппарат воздушного охлаждения горизонтального типа АВГ. В нем: число секций – 2 шт., в каждой секции 2 ряда трубок длиной 12 м, которые образуют один ход со стороны газа. Поверхность теплообмена $N_{сек} = 8307 \text{ м}^2$; $N_{ап} = 16614 \text{ м}^2$. Число вентиляторов на один аппарат – 6 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]:

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

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

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

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

t_1 , τ_1 – начальные температуры горячего и холодного теплоносителей, °С;

t_2 , τ_2 – конечные температуры горячего и холодного теплоносителей, °С;

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

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

К – коэффициент теплопередачи, кВт/(м² · °С);

Н – поверхность теплообмена, м²;

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

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

При $P_1 = 10,0$ МПа, $T_{га}^{cp} = 303$ К;

Теплофизические характеристики соответственно равны:

$C_{P1}^{cp} = 2,53$ кДж/(кг·К) [13];

$\nu_{газ} = 14 \cdot 10^{-6}$ м²/с [13];

$\lambda_{газ} = 40 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·К) [13];

$\rho_{газ} = 38$ кг/м³. В случае воздуха принимаем следующие коэффициенты:

При $T_{возд ср} = 276,7$ К;

Теплофизические характеристики соответственно равны:

$C_{P2}^{cp} = 1,005$ кДж/(кг·К);

$\nu_{возд} = 13,65 \cdot 10^{-6}$ м²/с;

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

$Pr = 0,705$ [10];

$\rho_{возд} = 1,28$ кг/м³.

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 основе данных охлаждения [9] охлажденный газ на выходе принимаем $t_2 = 10,2$ °С.

Решение:

1) Первоначально определялся тепловой поток, который передаётся от метана в аппарат воздушного охлаждения в соответствии с уравнением:

$$Q = M_1 \cdot C_{p1}^{cp} \cdot (t_1 - t_2) \cdot \eta = 120 \cdot 2,53 \cdot (33 - 10,2) \cdot 1 = 6922 \text{ кВт} \\ = 6,922 \text{ МВт.}$$

2) Далее рассчитана температура воздуха, который выходит из аппарата, по данному уравнению:

$$\tau_2 = \tau_1 + \frac{M_1 \cdot C_{p1}^{cp} \cdot (t_1 - t_2)}{M_2 \cdot C_{p2}^{cp}} = 0 + \frac{6922}{449,6 \cdot 1,005} = 15,32 \text{ °С.}$$

3) При этом, средняя температура метана посчитана, как:

$$t_{\text{газ}}^{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{33 + 10,2}{2} = 21,6 \text{ °С.}$$

4) В то же время, средняя температура воздуха определена в соответствии с:

$$t_{\text{воз}}^{cp} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} = \frac{0 + 15,32}{2} = 7,66 \text{ °С.}$$

5) На следующем этапе важным было определиться со средней скоростью метана в аппарате воздушного охлаждения:

$$\omega_{\text{газ}} = \frac{M_1}{\rho_{\text{газ}} \cdot F_{\text{п.с}}} = \frac{120}{38 \cdot 0,053} = 59,58 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

где $F_{\text{п.с}}$ – площадь поперечного сечения со стороны метана, м^2 .

6) Критерий Рейнольдса в ходе движения метана также посчитан:

$$Re_{\text{газ}} = \frac{\omega_{\text{газ}} \cdot d_{\text{вн}}}{V_{\text{газ}}} = \frac{59,58 \cdot 0,021}{14 \cdot 10^{-6}} = 89370.$$

Так как $Re > 10^4$ то средний по длине трубок коэффициент теплоотдачи рассчитывается исходя из уравнения подобия следующим образом.

7) Для начала, разобрались с критерием Нуссельта для метана:

$$Nu_{\text{газ}} = 0,021 \cdot Re_{\text{газ}}^{0,8} \cdot Pr_{\text{газ}}^{0,43} = 0,021 \cdot 89370^{0,8} \cdot 0,72^{0,43} = 166.$$

8) А коэффициент теплоотдачи со стороны метана посчитан, как:

$$a_{\text{газ}}^{cp} = \frac{Nu_{\text{газ}} \cdot \lambda_{\text{газ}}^{cp}}{d_{\text{вн}}} = \frac{166 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{0,021} = 316,2 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}.$$

9) Со скоростью воздуха в узком сечении секции аппарата аналогично:

$$\omega_{\text{возд}} = \frac{A \cdot V \cdot k_{\text{ж}}}{p_{\text{возд}}} = \frac{0,105 \cdot 960 \cdot 0,94}{1,28} = 74 \frac{\text{м}}{(\text{с})}.$$

где А – коэффициент, который зависит от типа АВО и коэффициента оребрения трубок [13];

V – объёмный расход воздуха на аппарате, м³ /ч (переведено из м³ /с и умножено на количество вентиляторов);

k_ж – коэффициент, который учитывает влияние жалюзи и принимается у всех аппаратов равным 0,94

10) Также, разбираемся с критерием Рейнольдса при движении уже воздуха:

$$Re_{\text{возд}} = \frac{\omega_{\text{возд}} \cdot d_{\text{н}}}{V_{\text{возд}}} = \frac{74 \cdot 0,025}{13,65 \cdot 10^{-6}} = 135531.$$

11) И на заключительном этапе стал подсчет критерия Нуссельта для воздуха:

$$\begin{aligned} Nu_{\text{возд}} &= 0,223 Re_{\text{возд}}^{0,65} \cdot \left(\frac{d_{\text{вн}}^{-0,54}}{b^{-0,54}} \right) \cdot \left(\frac{h_p^{-0,14}}{b^{-0,14}} \right) \\ &= 0,223 \cdot 135531^{0,65} \cdot \left(\frac{0,025^{-0,54}}{0,0025^{-0,54}} \right) \cdot \left(\frac{0,015^{-0,14}}{0,0025^{-0,14}} \right) = 108,44; \end{aligned}$$

где d_н – наружный диаметр трубок, м; h_р – высота ребра, м; b – шаг ребер, м.

12) Так, коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха:

$$a_{\text{возд}}^{cp} = \frac{Nu_{\text{возд}} \cdot \lambda_{\text{возд}}^{cp}}{d_{\text{н}}} = \frac{108,44 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}}{0,025} = 108,44 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

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

$$\Theta_m = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{\ln \frac{\Theta_1}{\Theta_2}},$$

где, Θ_1 и Θ_2 – наибольшая и наименьшая разности температур соответственно, определявшиеся в соответствии с уравнениями:

$$\Theta_1 = \Theta_{cp}^{ap} + 0,5 \cdot \Delta T; \quad \Theta_2 = \Theta_{cp}^{ap} - 0,5 \cdot \Delta T.$$

Среднеарифметическая разность температур посчитана как:

$$\Theta_{cp}^{ap} = 0,5 \cdot (t_1 + t_2) + 0,5 \cdot (\tau_1 + \tau_2)$$

$$\Theta_{cp}^{ap} = 0,5 \cdot (33 + 10,2) + 0,5 \cdot (0 + 15,32) = 13,94 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Характеристическая разность температур определена:

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

где $P = 0,5869$ – индекс противоточности схемы теплообменного аппарата, который был принят [13] при числе пересечения

$$n = 1 \text{ и отношения } \frac{W_1}{W_2} = \frac{M_1 \cdot C_{P1}^{cp}}{M_2 \cdot C_{P2}^{cp}} = \frac{M_1 \cdot C_{P1}^{cp}}{V \cdot \rho_{возд} \cdot C_{P2}^{cp}} = \frac{120 \cdot 2,53}{44,44 \cdot 1,28 \cdot 1,005} = 0,53.$$

После подстановки значений имеем:

$$\Delta T = \sqrt{(22,8 + 15,32)^2 - 4 \cdot 0,5869 \cdot 22,8 \cdot 15,32} = 25,16 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Начальная разность температур:

$$\Theta_1 = 13,94 + 0,5 \cdot 25,16 = 26,52 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Конечная разность температур:

$$\Theta_2 = 13,94 - 0,5 \cdot 25,16 = 1,36 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Средняя разность температур теплоносителей [13]:

$$\Delta t_{cp}^{лог} = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{\ln \frac{\Theta_1}{\Theta_2}} = \frac{26,52 - 1,36}{\ln \frac{26,52}{1,36}} = 16,94 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

14) Коэффициент эффективности ребра рассчитан, как:

$$E = \frac{th\left(\frac{l}{\delta} \cdot \sqrt{2 \cdot Bi}\right)}{\frac{l}{\delta} \cdot \sqrt{2 \cdot Bi}} = \frac{th\left(\frac{0,015}{0,00033} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{108,44 \cdot 0,00033}{156}}\right)}{\frac{0,015}{0,00033} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{108,44 \cdot 0,00033}{156}}} = 0,71;$$

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

l – высота ребра (0,015 м);

δ – толщина ребра (0,00033 м);

Bi – критерий Био $Bi = \frac{\alpha_p \cdot \delta}{\lambda}$ – важная характеристика процесса теплообмена на границе твердая поверхность – окружающая среда. Является отношением внутреннего термического сопротивления теплопроводности δ / λ к внешнему термическому сопротивлению теплоотдачи ($1 / \alpha_p$).

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:

$$\begin{aligned} \alpha_{2пр} &= \alpha_2^{возд} \cdot \left(E \cdot \frac{H_p}{H_{p.c}} + \frac{H_c}{H_{p.c}} \right) = 108,44 \cdot \left(0,77 \cdot \frac{15900}{16600} + \frac{700}{16600} \right) \\ &= 84,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \end{aligned}$$

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

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{газ}}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} \right) \cdot \varphi + \frac{1}{\alpha_{2пр}}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{316,2} + \frac{0,002}{156} \right) \cdot 25 + \frac{1}{84,6}} = 24,96 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

где $\alpha_{\text{газ}}$ – коэффициент теплоотдачи от метана к стенке трубок, Вт/(м² · К);

δ_c, λ_c – толщина и коэффициент теплопроводности материала стенки трубки;

$$\varphi = \frac{H_{p.c.}}{H_c}$$

$\alpha_{2пр}$ – приведенный коэффициент теплоотдачи от ребристой поверхности к воздуху, Вт/(м² · К).

17) Определение требуемой (расчетной) поверхности теплообмена аппарата:

$$H_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{лог}}} = \frac{6,922 \cdot 10^6}{24,96 \cdot 16,94} = 16371 \text{ м}^2.$$

Фактическая поверхность теплообмена у существующего аппарата составляет 16614 м², расхождение расчетного значения с фактическим составляет 2 %.

18) Расчет эффективности ТА

Эффективность теплообменного аппарата (в соответствии с уравнением теплового баланса водяные эквиваленты соответственно равны $W_1 = 30,36$ кДж/с; $W_2 = 57,16$ кДж/с. $W_2 > W_1$) рассчитана, как:

$$E = \frac{W_2 \cdot (\tau_2 - \tau_1)}{W_1 \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{57,16 \cdot (15,32 - 0)}{30,36 \cdot (33 - 0)} = 0,87.$$

В целях проверки правильности проведенного расчета необходимо было воспользоваться следующим уравнением [13]:

$$E = \frac{1 - \exp\left[-\frac{k \cdot H}{W_{min}} \cdot \left(1 + \frac{W_{min}}{W_{max}}\right)\right]}{1 + \frac{W_{min}}{W_{max}}} = \frac{1 - \exp\left[-\frac{24,96 \cdot 16370}{30,36} \cdot \left(1 + \frac{30,36}{57,16}\right)\right]}{1 + 30,36/57,16} = 0,85.$$

Таким образом, расчет был проведен верно. В ходе выбора магниевых сплавов как материала изготовления оребрения трубок теплообменной секции расчет оправдал теплообмен нагретого природного газа с воздухом, подаваемым шестью вентиляторами аппарата воздушного охлаждения. Правильно подобрана величина коэффициента теплопередачи (25 против расчетных 24,96 Вт/ (м² · К)). Расчеты подтверждают достаточную эффективность охлаждения газа магниевым оребрением с достаточной эффективностью (порядка 85-87 %).

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В магистерской диссертации рассматривается эффективность применения различных вариантов оребрения биметаллических труб в теплообменной секции аппарата воздушного охлаждения.

В данном разделе проекта произведены расчеты затрат на модернизацию теплообменной секции с проведением экономического сравнения перспективности двух вариаций оребрения биметаллических труб:

1. Теплообменная секция с L – образным оребрением стальной несущей трубы алюминиевым сплавом.

2. Теплообменная секция с LL – образным оребрением стальной несущей трубы алюминиевым сплавом.

Затраты на модернизацию биметаллических труб состоят из следующих элементов:

- амортизация;
- материальные затраты;
- затраты на оплату труда;
- страховые отчисления;
- накладные расходы.

5.1 Расчет трудоемкости работ

Определим нормы времени для замены биметаллических труб аппарата воздушного охлаждения газа. Согласно справочникам «Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е5, Е22.» [15]. Время на выполнение ремонтных работ по технологии теплообменная секция с L – образным оребрением стальной несущей трубы алюминиевым сплавом и теплообменная секция с LL – образным оребрением стальной несущей трубы алюминиевым сплавом представлено в таблице 5.1. Таблица 5.1 – Время на выполнение ремонтных работ по двум технологиям

Операция	Общее время, ч	
	L обр. оребрение	LL обр. оребрение
1. Вскрытие крышки аппарата воздушного охлаждения газа	2,0	
2. Строповка теплообменной секции	0,6	
3. Перемещение секции и расстроповка секции	0,8	
4. Укладка подкладок под теплообменную секцию	0,6	
5. Строповка новой теплообменной секции	0,8	
6. Установка теплообменной секции в АВО	2,1	
7. Расстроповка секции	0,7	
8. Прихватка сваркой	1,4	
9. Закрытие крышки аппарата воздушного охлаждения газа	2,0	
Итого	11	

По результатам таблицы видно, что ремонтные работы по замене биметаллических труб в аппарате воздушного охлаждения газа занимают 11 ч.

Рассчитаем количество машино-часов за операцию и за год (259 рабочих дней при 12-часовой смене), что позволит в дальнейшем рассчитать сумму амортизационных затрат на оборудование за период проведения ремонтных работ аппарата воздушного охлаждения.

Определяем машино-часы, отработанные оборудованием на объекте по формуле:

$$M = D \cdot K \quad (5.1)$$

где, D – продолжительность периода, час;

K – количество машин.

Для L, LL обр. оребрения за 1 рабочий день:

$$M_{об} = 11 \cdot 7 = 77 \text{ маш.-час.}$$

Количество машино-часов работы за год составит:

$$M_{год} = 259 \cdot 12 \cdot 7 = 21756 \text{ маш.-час.}$$

5.2 Расчет затрат на оборудование, необходимого для проведения замены теплообменных труб

В процессе ремонта потребуется следующая техника: автокран для снятия крышки аппарата воздушного охлаждения компрессорной станции. Дизель-электрический агрегат служит для обеспечения электричеством всех электроприборов, используемых на месте ремонта. Цепные стяжки необходимы для обвязки, перемещения и фиксации оборудования.

Стоимость оборудования взята по прайс-листам оборудования заводоизготовителей. Результаты амортизационных отчислений оборудования, необходимого для ремонта приведена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Расчет амортизационных отчислений оборудования, необходимого для ремонта

Оборудование	Ед	Цена ед., руб.	Транспортные расходы, руб.	Стоимость монтажа, руб.	№, %	Сумма амортизации, руб. (за 12 мес.)	
Автокран КС3561	1	1228000	24560	61400	2,7	397 872	
Сварочная машина «Парма»	1	1520000	30400	76000	2,7	492 480	
Бортовая машина «ЗИЛ» 131	1	900000	18000	45000	1,6	192600	
Автозаправщик Т 371	1	1200000	24000	60000	1,6	172 800	
Вахтовая машина	1	1210000	24200	60500	1,6	232 320	
Аппарат высокого давления Б3521	1	260780	10431,2	13039	4	125 174,4	
Дизель генератор TSS SDG 6000EHA	1	88488	4424,4	11061	4	42 474,24	
Итого	7	Σ					1 655 720,64

Нормы амортизации выбираем согласно Постановлению Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 27.12.2019) «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» (утв.

постановлением Правительства Российской Федерации от 1 января 2002 г. N 1) [16]. Амортизационная группа оборудования: Автокран и «Парма» - 3 группа; «ЗИЛ» 131, автозаправщик, вахтовая машина – 4 группа; аппарат высокого давления и дизель генератор – 1 группа.

Амортизация за отработанный период:

$$A_{об} = \frac{A_{год}}{M_{год}} \cdot M_{об} \quad (6.2)$$

где $A_{год}$ – амортизационные отчисления за год, руб.;

$M_{год}$ – машино-часы, отработанные оборудованием за год;

$M_{об}$ – машино-часы, отработанные оборудованием за время ремонта.

Для L, LL обр. оребрения:

$$A_{об} = \frac{1\,655\,720,64 \cdot 77}{21756} = 5\,860,01 \text{ руб.}$$

Итого с учетом трудоемкости работ, амортизационные отчисления составят за 1 день выполнения работ:

– Для L, LL обр. оребрения = 5 860,01 руб.;

5.3 Расчет затрат на оплату труда

К расходам на оплату труда относятся:

- суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда;

- надбавки по районным коэффициентам, за работу в районах Крайнего Севера и др.

Далее определим затраты на оплату труда работников за период ремонта с учетом премии и районного коэффициента. Расчеты фонда оплаты труда работников сведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3 – Фонд оплаты труда

Профессия	Кол-во работников	Тарифная ставка, руб.	Премия, руб.	Основная ЗП, руб.	Доп. ЗП, руб.	Сев. и район. коэф. (50% + 30%)	Рабочее время, час	Итого фонд ЗП, руб.
-----------	-------------------	-----------------------	--------------	-------------------	---------------	---------------------------------	--------------------	---------------------

Монтажник конструкци й (5й разряд)	2	85,25	42,625	127,875	25,575	102,3	11	5626,5
Машинист технологиче ских компрессор ов (4 разряд)	1	110,85	55,425	166,275	33,255	133,02	11	3658,05
Водитель автокрана	1	95,35	47,675	143,025	28,605	114,42	11	3146,55
Стропальщи к (3й разряд)	2	78,33	39,165	117,495	23,499	93,996	11	5169,78
Водитель вахтовой машины	1	74,28	37,14	111,42	22,284	89,136	11	2451,24
Электросвар щик (5й разряд)	1	125,44	62,72	188,16	37,632	150,528	11	4139,52
Слесарь (4й разряд)	2	96,39	48,195	144,585	28,917	115,668	11	6361,74
	Итого							30553,38

5.4 Затраты на страховые отчисления в государственные внебюджетные фонды

Затраты на страховые взносы в Пенсионный фонд, Фонд социального страхования, Фонд обязательного медицинского страхования и обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве при ремонтных работах с аппаратом воздушного охлаждения газа представлены в таблице 5.4.

Рассчитывая затраты на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, выбираем класс VIII с тарифом 0,9.

Таким образом страховые отчисления составляют: в фонд социального страхования – 2,9%, фонд обязательного медицинского страхования – 5,1%, пенсионный фонд РФ – 22%, страхование от несчастных случаев – 0,9%.

Зная общий фонд заработной платы, рассчитаем величину отчислений на социальные нужды, который составляет 30% (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Расчет суммы страховых отчислений во внебюджетные фонды

Технология ремонта	Затраты на оплату труда, руб.	Сумма страховых отчислений, руб.
L, LL обр. оребрения	30553,38	9440,994

5.5 Расчет материальных затрат

Далее определим стоимость основных и вспомогательных материалов для обоих вариантов (таблицы 5.5, 5.6).

Таблица 5.5 – Материальные затраты для L обр. оребрения

Материал	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
Стальная несущая труба (Труба бесшовная х/д 32 х 2,5 мм. Длина трубы 12м.)	388	8935,56	3 466 997,28
Оребрение стальной трубы алюминиевым сплавом (Лента алюминиевая 1х1000 мм А5Н х/к)	388	5 448	2 113 824
Электроды 3 мм, кг	2,5	75	187,5
Электроды 5 мм, кг	15	65	975
Щётка по металлу	2	160	320
Растворитель, л	30	18	540
Дизтопливо, л	275	5,7	1567,5
Цепные стяжки	2	500	1000
Σ			5 585 410,78
Транспортные расходы, 5%			279 270,54
Итого			5 864 681,32

Таблица 5.6 – Материальные затраты для LL обр. оребрения

Материал	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
Стальная несущая труба (Труба бесшовная х/д 32 х 2,5 мм. Длина трубы 12м.)	388	8935,56	3 466 997,28
Оребрение стальной трубы алюминиевым сплавом (Лента алюминиевая 1х1000 мм А5Н х/к)	388	10896	4 227 648

Электроды 3 мм, кг	2,5	75	187,5
Электроды 5 мм, кг	15	65	975
Щётка по металлу	2	160	320
Растворитель, л	30	18	540
Дизтопливо, л	275	5,7	1567,5
Цепные стяжки	2	500	1000
		Σ	7 699 235,28
	Транспортные расходы, 5%		384 961,77
		Итого	8 084 197,04

5.6 Накладные расходы

Накладные расходы:

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

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

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{м}} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{зп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}1} &= (5\,864\,681,32 + 5860,01 + 30553,38 + 9440,994) \cdot 0,16 \\ &= 945\,685,72 \text{ руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}2} &= (8\,084\,197,04 + 5860,01 + 30553,38 + 9440,994) \cdot 0,16 \\ &= 1\,300\,808,23 \text{ руб.} \end{aligned}$$

5.7 Сравнительный анализ L – образного оребрения и LL – образного оребрения

Заключительный сравнительный анализ вариантов оребрения теплообменной секции представлен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Смета затрат на модернизацию аппарата воздушного охлаждения газа.

Наименование статьи	L		LL	
	тыс. руб.	уд.вес, %	тыс. руб.	уд.вес, %

Материальные	5864,68	85,54	8084,19	85,72
Оплата труда	30,55	0,44	30,55	0,32
Страховые отчисления	9,44	0,13	9,44	0,1
Амортизационные отчисления	5,86	0,085	5,86	0,062
Накладные расходы	945,69	13,79	1300,81	13,79
Итого	6856,22	100,00	9430,85	100,00

Итоговые технико-экономические показатели двух вариаций оребрения труб представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Техничко-экономические показатели вариантов работ

Показатель	Ед.изм.	L обр. оребрение	LL обр. оребрение
Продолжительность ремонта	час.	11	11
Численность работников	чел	10	10
Трудоемкость	маш.-час	77	77
Смета затрат, всего:		6856,22	9430,85
в том числе			
- материальные затраты	тыс. руб.	5864,68	8084,19
- оплата труда	тыс. руб.	30,55	30,55
- страховые отчисления	тыс. руб.	9,44	9,44
- амортизация	тыс. руб.	5,86	5,86
- накладные расходы	тыс. руб.	945,69	1300,81

5.8 Метод оценки энергосберегающих эффектов

$$\Delta_{\phi} = N_1 - N_0,$$

где N_1 – потребление электроэнергии оборудованием после реализации мер, кВт*ч/год,

N_0 – потребление электроэнергии до реализации мер, кВт*ч

Для рассматриваемого аппараты воздушного охлаждения АВГ Потребляемая мощность = 75 кВт*ч. После модернизации теплообменных труб на создание такого же теплового потока, т.е. той же температуры охлаждения газа аппаратом потребляется мощность равная 58,4 кВт*ч (энергопотребление снизилось на 22%) Экономический эффект от снижения энергозатрат составил:

$$\text{Э}_\phi = (75 - 58,4) \cdot 24 \cdot 365 \cdot 4 = 581\,664 \text{ руб.}$$

*Тариф за электроэнергию составляет 4 руб. за кВт*ч

Вывод

На основании проведенных расчетов можно сказать следующее: расчеты показали ресурсоэффективность технологии установки теплообменной секции с L – образным оребрением стальной несущей трубы алюминиевым сплавом (сумма затрат 6856,22 тыс.руб) в сравнении с LL образным оребрением (9430,85 тыс.руб), но с точки зрения экономической эффективности LL – образное оребрение трубы, наилучшим образом защищает трубки теплообменной секции и увеличивает срок эксплуатации и межремонтного периода и, как следствие, снижение затрат на ремонт в будущем.

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. Социальная ответственность – ответственность организации перед сотрудниками, учитывающая их интересы и вопросы безопасности, а также перед обществом – в вопросах экологии.

Объектом исследования магистерской диссертации является биметаллические теплообменные трубки АВО.

В работе проводится анализ теплообменной секции аппарата воздушного охлаждения и разрабатывается наиболее эффективный вариант оребрения биметаллических труб.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Работникам, выезжающим для выполнения работ вахтовым методом в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности из других районов согласно Трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) [17]: устанавливается районный коэффициент и выплачиваются процентные надбавки к заработной плате в порядке и размерах, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях; предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в порядке и на условиях, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих:

- в районах Крайнего Севера – 24 календарных дня;
- в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера – 16 календарных дней [17].

Рабочей зоной являются полевые условия на компрессорной станции магистрального газопровода. Эргономические требования к рабочему месту

на рассматриваемых площадках регламентируются системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.2.049-80 [18] при работе с производственным оборудованием и ГОСТ 12.2.033-78 [19] при выполнении работ стоя.

6.2 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 6.1 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 [20].

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Подготовительный этап	Ремонт теплообменной секции АВО	
1. Повышенный уровень шума;	+	-	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [21]
2. Повышенный уровень общей вибрации;	+	+	ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования [22]
3. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе;	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [23]
4. Запыленность и загазованность рабочей зоны;	+	+	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. [24]
5. Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или	+	+	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное.

газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего;			Общие требования безопасности [25]
6. Повышенная температура трубопроводной обвязки;	+	-	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Классификация и общие требования безопасности [26]
7. Пожаро- и взрывоопасность	+	+	ГОСТ 12.1.044-2018. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов [27]

6.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

1. Повышенный уровень шума

Непосредственными источниками шума и вибрации являются аппарат 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.

2. Повышенный уровень общей вибрации

Наличие даже минимального дисбаланса в технической системе многократно преумножается в сильные вибрации, которые воздействуют на 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 [21, 22]: 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 [22].

3. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе

Постоянное отклонение метеоусловий на рабочем месте от нормальных параметров приводит к перегреву или переохлаждению человеческого организма [20].

Связанные с отклонениями микроклимата негативные последствия:

- 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 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.

При определенной температуре воздуха и скорости ветра в холодное время работы приостанавливаются.

Таблица 6.2 – Погодные условия, при которых работы на открытом воздухе приостанавливаются

Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °С
Безветренная погода	-40
Менее 5,0	-35
5,1 – 10,0	-25
10,1 – 15,0	-15
15,1 – 20,0	-5
Более 20,0	0

4 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/м³, для природного газа ПДК равно 300 мг/м³.

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/м³.

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.

5. 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, закрывающие непосредственно блок АВО по ГОСТ 12.2.062-81. Ограждения защитные [28]. Устанавливают их так, чтобы полностью исключить доступ человека в зону опасности. Работа категорически запрещается при неисправных ограждениях.

Для профилактики систематически проверяют наличие всей необходимой защиты. Также проводят плановую и внеплановую проверку тормозных и пусковых устройств, состояния оборудования и своевременное устранение дефектов согласно ГОСТ 12.2003-91 [25].

6 Повышенная температура трубопроводной обвязки

Для оценки риска ожога при соприкосновении кожи с горячей поверхностью оборудования необходимо измерить температуру этой поверхности [26].

Маслосистема представлена совокупностью трубопроводов, окутывающих ГПА. Контакт с системой при работающей установке может привести к ожогам различной степени, в зависимости от времени контакта и температуры.

Если измеренная температура поверхности оборудования равна или превышает ожоговый порог, то существует риск ожога кожи при контакте ее с горячей поверхностью. В качестве средства защиты необходимо использовать термостойкие перчатки, а также установить таблички «Осторожно, горячая поверхность».

7 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.

Для предотвращения пожаров и взрывов необходимо исключить возможность образования горючей и взрывоопасной среды и предотвратить появление в этой среде источников зажигания. Требования пожарной безопасности при проведении огневых работ устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.1.044-2018. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов [27].

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

Расчет системы искусственного освещения

Рабочее освещение нормируется по СП 52.13330.2016 в зависимости от разряда зрительной работы, контраста объекта с фоном и характеристикой фона. Рабочее освещение создаёт равномерную освещённость, исключает возможность образования резких теней, блескости, обеспечивает правильную цветопередачу, является экономичным, надёжным и удобным в эксплуатации.

Аварийное освещение предусмотрено на случай отключения рабочего освещения для продолжения работ или для эвакуации людей. Освещенность в первом случае составляет не менее 2 лк, во втором – не менее 0,5 лк. Для охранного освещения (не менее 0,5 лк) используется часть светильников рабочего освещения.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,7$ м; требуемая норма освещенности 300 лк. Коэффициент отражения стен $R_c = 50 \%$, потолка $R_n = 50 \%$.

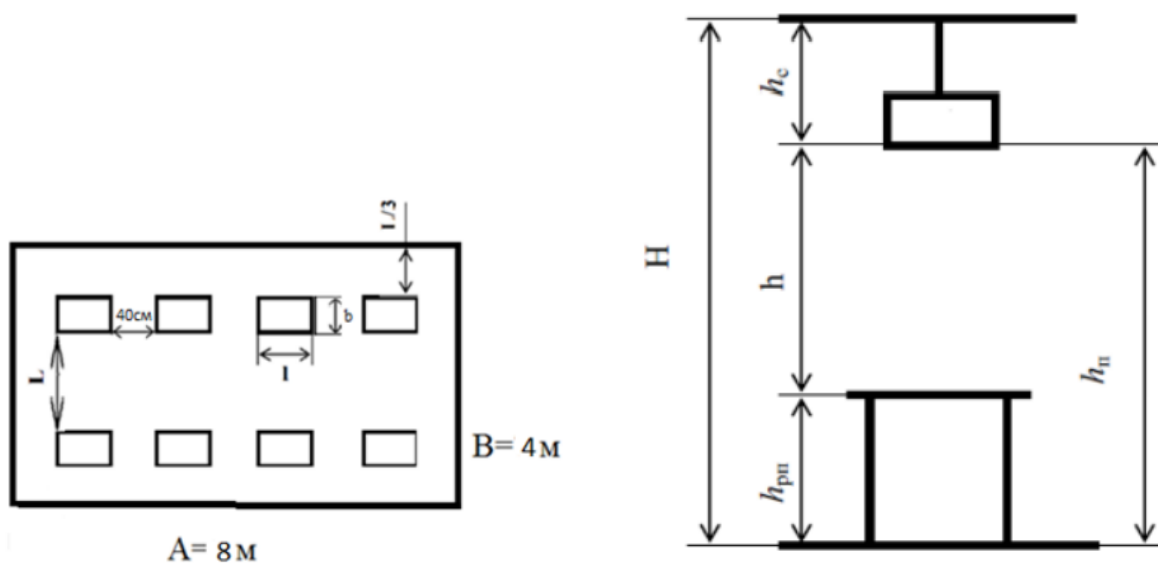


Рисунок 1 – Схема освещения рабочей зоны

Выбираем светильники типа ШОД мощностью 40 Вт, $\lambda = 1,144$ из таблицы 9 в руководстве

Приняв расстояние светильников от перекрытия $h_c = 0,5$ м (свес), получаем:

$$h = H - h_{рп} - h_c = 3 - 0,7 - 0,5 = 1,8 \text{ м}$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,144 \cdot 1,8 = 2,0592 \text{ м}$$

$$\frac{L}{3} = \frac{2,0592}{3} = 0,6864 \text{ м}$$

где $h_{\text{рп}}$ – высота рабочей поверхности над полом, м;

L – расстояние между соседними светильниками или рядами, м;

h – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью, м

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильника типа ШОД мощностью 40 Вт (с длиной $l = 1,228$ м; шириной $b = 0,284$ м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 40 см.

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении N будет равно:

$$N = n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} = 2 \cdot 8 = 16$$

Проверяем соответствие размеров

$$A = 3 \cdot 0,4 + 2 \cdot \frac{L}{3} + 4 \cdot l$$

$$A = 3 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,6864 + 4 \cdot 1,228 = 7,4848$$

$$B = L + 2 \cdot \frac{L}{3} + 2 \cdot b$$

$$B = 2,0592 + 2 \cdot 0,6864 + 2 \cdot 0,284 = 4$$

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 4}{1,8 \cdot (8 + 4)} = 1,48 \approx 1,5$$

По таблице 5 из руководства «Коэффициенты использования светового потока светильников с люминесцентными лампами» определяем:

$$\eta = 42\% \text{ или } \eta = 0,42$$

Определяем световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta}$$

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, равен 1,5;

Z – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1

$$\Phi = \frac{300 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,42} = 2357,143 \text{ Лм}$$

По таблице 6 из руководства «Основные характеристики люминесцентных ламп». Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД 40 Вт с потоком 2300 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq \frac{2300 - 2357,143}{2300} \cdot 100\% = -2,48\% \leq +20\% - \text{входит в диапазон}$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 40 \cdot 16 = 640 \text{ Вт.}$$

Коллективные средства защиты (КСЗ) в соответствии с СП 52.13330.2016

1. Наличие светильников (взрывозащищенных).
2. Постоянная во времени освещенность
3. Яркость светильников (отсутствие прямой и отражённой блескости).

6.3 Экологическая безопасность

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

1 Защита селитебной зоны

Согласно постановлению Правительства РФ от Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. [29] объекты по добыче сырой нефти и (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 [30]) – 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.

2 Защита атмосферы

Атмосферный воздух рабочей зоны должно соответствовать требованиям СанПиН 2.1.3684-21 [31].

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 эксплуатации машин и механизмов исключительно в исправном состоянии.

3 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. [32]) и поверхностных вод (ГОСТ 17.1.3.13-86 [33]):

- 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.

4 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 [34].

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 земледелия, если таковой имеется. При выполнении вышеуказанных мероприятий, воздействие на земельные угодья будет минимальным.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Объекты нефтегазовой отрасли должны соответствовать правилам безопасности в чрезвычайных ситуациях (ГОСТ Р 22.0.01-2016) [35].

В районе проведения работ возможно возникновение следующих видов чрезвычайных ситуаций:

- Природные катастрофы (наводнения, экстремально пониженные температуры, метель);
- Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.);
- Техногенные аварии (перегрузка электроприборов - появление открытого огня, аварийная остановка при превышении частоты вращения вентилятора)

Наиболее распространенной ЧС является нарушение рабочего режима охлаждения.

Меры по повышению устойчивости объекта к данной ЧС.

Для предотвращения нарушения рабочего режима охлаждения снабдить средствами измерения и контроля температуры в рабочей камере, иметь защитные блокировки, обеспечивающие отключение агрегата при нарушении рабочего режима охлаждения.

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.

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.

Заключение

На охлаждение компримированного газа тратится значительная часть потребления электроэнергии компрессорной станцией: 60-70% от общего объема, таким образом вопрос о целесообразности пользования энергоресурсами является актуальным. Одним из решения данной проблемы является усовершенствование технологического оборудования компрессорной станции.

Аппараты воздушного охлаждения являются неотъемлемой частью газотранспортного производства. Модернизация теплообменного оборудования повысит эффективность работы АВОг КС.

В магистерской диссертации был предложен способ повышения эффективности работы АВО путем модернизации биметаллических труб теплообменной секции. Была построена САЕ – модель L и LL – образного оребрения стальной несущей трубы алюминием и магниевым сплавом в программном комплексе «Ansys». Из представленных результатов расчета распределения теплового потока был определен наиболее эффективный вариант оребрения. Также представлена экономическая оценка применения теплообменных труб LL – образного оребрения магниевым сплавом.

В ходе теплового расчета биметаллических труб был рассчитан коэффициент теплопередачи K равный $24,96 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ полученный результат близок к фактическому, $K_f = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Расчеты подтверждают достаточную эффективность охлаждения газа магниевым оребрением с достаточной эффективностью (порядка 85-87 %).

Сравнивая два варианта оребрения, приходим к выводу, что наиболее эффективным вариантов является LL – образное оребрение трубы, магниевым сплавом. Таким образом, при выборе LL образного оребрения трубы, магниевым сплавом (Максимальный удельный тепловой поток составил $86,61 \text{ (кВт/м}^2\text{)}$) по отношению к L образному оребрению трубы, магниевым сплавом (Максимальный удельный тепловой поток составил $68,92 \text{ (кВт/м}^2\text{)}$)

эффективность теплопереноса будет выше на 25,6 %, и температура будет распределяться на 3 % эффективнее.

Список используемых источников

1. Пешкова А.В. Повышение энергоэффективности в системах отопления и вентиляции компрессорной станции / А.В. Пешкова, А.И. Шарапов, А.С. Бронникова [и др.]; Современные тенденции развития науки и технологий – Липецкий государственный технический университет, г. Липецк. – 2016. – 61-64 с.
2. ОСТ 51.40-93 Газы горючие природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным газопроводам. Технические условия.
3. Степанов О.А. Методические указания по тепловому и гидравлическому расчету теплообменного аппарата воздушного охлаждения / О.А. Степанов. – Тюмень: РИО ГОУ ВПО ТюмГАСУ, 2009. – 41 с.
4. Леонтьев А.П., Беев Э.А., Расчет аппаратов воздушного охлаждения: учеб. пособие/ Леонтьев А.П., Беев Э.А – Тюмень: ТГНУ, 2000. - 74с.
5. Сидягин А.А., Расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения: учеб. пособие/ А.А. Сидягин, В.М. Косырев. – Н.Новгород: НГТУ, 2009. – 150 с.
6. Справочник по теплообменникам. В 2 т. Т.2 / Пер. с англ. под ред. О.Г. Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. - 352 с
7. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения/ Под ред. В.Б.Кунтыша, А.Н.Бесонного.-СПб.: Недра, 1996–510 с.
8. Зубарев В.Г. Проектирование и эксплуатация магистральных газопроводов / В.Г. Зубарев. – Учебное пособие, Тюмень. – 2001. – 96 с.
9. Хворов Г.А. Анализ энергосберегающих технологий охлаждения газа на основе аппаратов воздушного охлаждения в транспорте газа ПАО «Газпром» / Г.А. Хворов, М.В. Юмашев. – Территория Нефтегаз. – 2016. - №9. – с. 127-132.
10. Система автоматического управления аппаратами воздушного охлаждения газа САУ АВО [Электронный ресурс]. – URL: <https://gisprofi.com/catalog/items8271.html> (Дата обращения: 03.05.2022 г.).

11. Патент № 2675913 Российская Федерация, МПК В08В 9/023 (2006.01), В08В 9/032 (2006.01), В64F 5/00 (2006.01). Способ очистки наружной поверхности теплообменных труб аппаратов воздушного охлаждения: № 2018111027: заявл. 27.03.2018: опубл. 25.12.2018/Соловьев Е.А, Кобзарев Т.Н, Петровский Э.А; заявитель СФУ
12. ГОСТ 550-2020 "Трубы стальные бесшовные для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Технические условия"
13. Степанов О.А. Методические указания по тепловому и гидравлическому расчету теплообменного аппарата воздушного охлаждения / О.А. Степанов. – Тюмень: РИО ГОУ ВПО ТюмГАСУ, 2009. – 41 с.
14. Бессонный А.Н. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: справочник / А.Н. Бессонный, Г.А. Дрейцер, В.Б. Кунтыш, А.Э. Пиир и др.; под общ. ред. В.Б. Кунтыша, А.Н. Бессонного. – СПб.: Недра, 1996. – 512 с
15. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Общая часть. Сборник Е5 Монтаж металлических конструкций; Сборник Е22 Сварочные работы.
16. Постановлению Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 27.12.2019) «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» (утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 1 января 2002 г. N 1).
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.
28. ГОСТ 12.2.062-81. Ограждения защитные
29. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. N 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий»
30. СанПиН 2.2.1./2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» На основании Федерального закона от 30.03.1999 N 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" (Собрание законодательства Российской Федерации, 1999, N 14, ст.
31. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий

городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (с изменениями на 26 июня 2021 года).

32. ГОСТ 17.1.3.06-82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.

33. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.

34. ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов.

35. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.

Приложение (А)

Раздел 1 Compressor station air-cooled heat exchanger

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Казанцев Максим Александрович		

Консультант школы отделения (НОЦ) школы ИШПР ОНД:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Никульчиков А.В.	К.Т.Н		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ШБИП ОИЯ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОИЯ	Матвеев И.А.	д.ф.н		

1 Compressor station air-cooled heat exchanger

The air cooler (fig. 1.1) consists of one or more heat exchange sections mounted on a metal structure, blower that pump air flows through the heat exchanger and blower drives (electric motors). Blowers are installed in special diffusers, which are designed to increase efficiency and direction of the air flow. The blower diffuser is a cylindrical shell, inside which the fan itself is placed. The heat exchange section consists of finned tubes through which the cooled medium flows, and manifolds to which the supply and discharge pipelines are connected and which distribute the cooled medium evenly over the heat exchanger pipes. The process fluid to be cooled enters the heat exchanger pipes. Heat is transferred from the liquid (gas) to the pipes, and from the tubes to the fins and then to the air, which removes heat from the heat exchanger to the environment.



Figure 1.1 - Appearance of the air-cooled heat exchanger

There are two versions of air coolers:

- devices with natural air convection through a heat exchanger;
- devices with forced air circulation, which is carried out with the help of blower.

Air coolers with forced air circulation are used much more often, because their efficiency is much higher. Heat exchangers with natural convection are used in special cases where technological processes require low air velocities, for example, in some types of cooling box.

1.1 The main structural elements of the air-cooled heat exchanger

Air coolers consist of the following main units (Fig. 1.2):

- heat exchange sections;
- axial blower with drive;
- devices for regulating the flow of cooling air;
- supporting and protective structures.

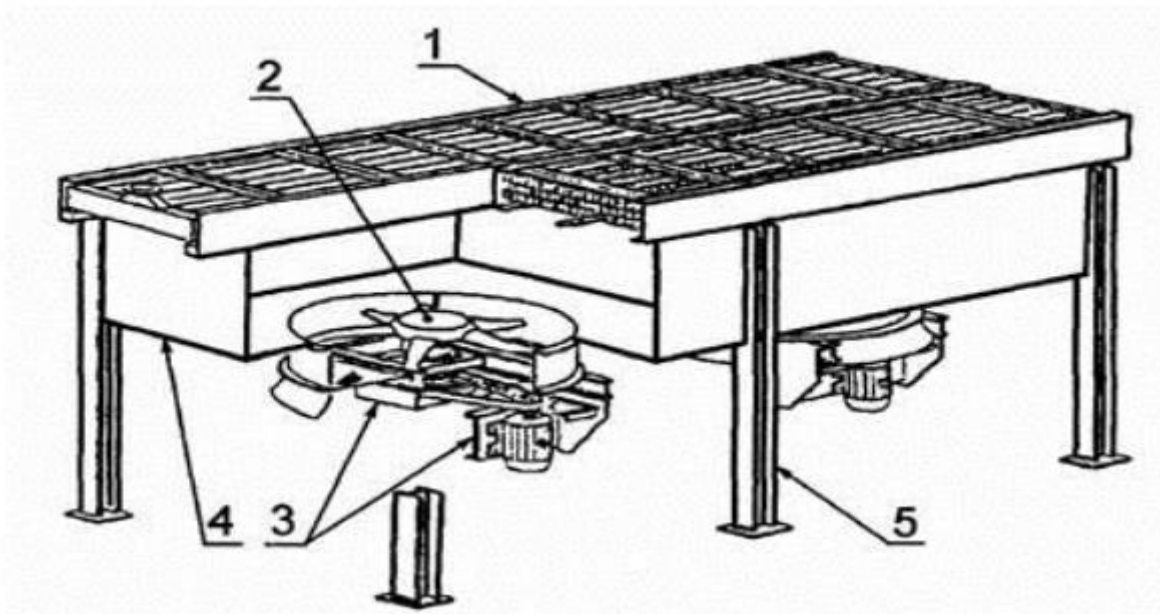


Figure 1.2 - Schematic diagram of the air cooler

1.1.2 Main parameters of the air-cooled heat exchanger

The main parameters in the selection and design of air coolers are:

- performance,
- design pressure,
- design temperature,
- the material of the heat exchanger pipes (depending on the heat carrier).

Also, when choosing of air coolers, parameters such as:

- ✓ volume of the internal circuit (filling volume),
- ✓ heat transfer surface area,
- ✓ diameter and type of coolant connections,
- ✓ weight and size characteristics.

1.2 Heat exchange sections of air coolers

The main air-coolers devices are heat-exchange sections, heat-exchange surface, which are assembled from finned pipes fixed in pipe sheets in four or six-eight rows. Covers are attached to the pipe sheets, located inside the connection cavity for distributing the cooling fluid flow through the pipes. Side frames are installed on the sides of the sections, which are at the opening of the pipe, tube sheets and covers in a wide position. The sections are mounted on a frame resting on the support legs of the apparatus and are concentrated with the end of one, which absorbs the free thermal expansion of the elements of the sections when heated.

Cooling various heat transfer fluids with air would be economical. unprofitable if ordinary smooth pipes are installed in pipe sections: low coolant flow rate combined with low density and thermal conductivity air, determines low values of heat transfer coefficients from air side. Relatively low heat transfer coefficients on the air side compared to for cooled or condensed liquids can be partly offset by the development surfaces on the air side. This possibility appears if finned tubes are used, the area the outer surface of which is 10-25 times greater than the area of their inner surface

The shape of the ribs can be different (Fig. 1.3), and ribs can be used for pipes combined in groups of two, three pipes or more

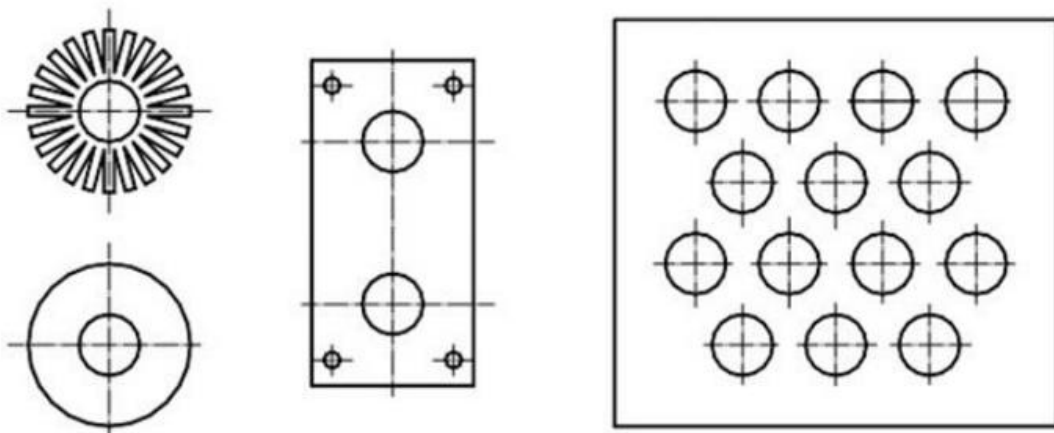


Figure 1.3 - Different rib geometry

It is known that finning can be made in various ways: by winding a tape in the form of a spiral around a pipe, by pressing round or rectangular plates into shallow grooves on the outer surface of the pipe, by welding or soldering ribs or rods to the pipe (Fig. 1.4). However, in all the above cases, there is a deterioration in the adhesion of the fin to the surface of the pipe due to corrosion phenomena, especially if the fins and the main pipe are made of different materials. In addition, these methods of installing ribs are characterized by high labor intensity.

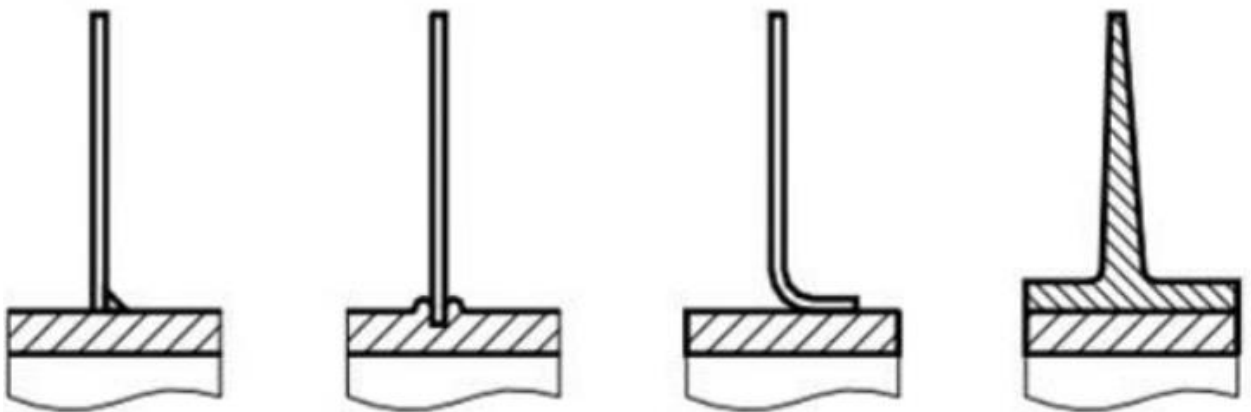


Figure 1.4 - Methods for attaching ribs to a pipes

Currently, ribbed pipes are the most practical and technologically advanced. from a solid thick-walled pipe (usually from aluminum or aluminum alloys) subjected to mechanical processing. The ribs are cut by passing the pipe through a series of molding discs. The process of tube finning by the transverse method screw rolling has high productivity, lends itself well to mechanization and automation. Finning by other methods does not exceed 10 - 15% of production volume.

Inside the finned pipe, an inner pipe of any material required for coolant can be installed while ensuring a tight fit between sleeve and fins part. In this case, the pipe is bimetallic. For all types of finned tubes there are limiting temperatures, above which the contact between the carrier pipe and fin or finned tube and liner broken limiting temperature limits to operate an air-cooled heat exchanger.

Pipes for standardized domestic air coolers have two types of external finning:

- bimetallic pipe, consisting of an internal smooth (steel or brass) and an external (aluminum) with a knurled helical rib (Fig. 1.5): version left;
- monometallic (aluminum) pipe with a knurled helical (spiral) rib (Fig. 1.5): version right.

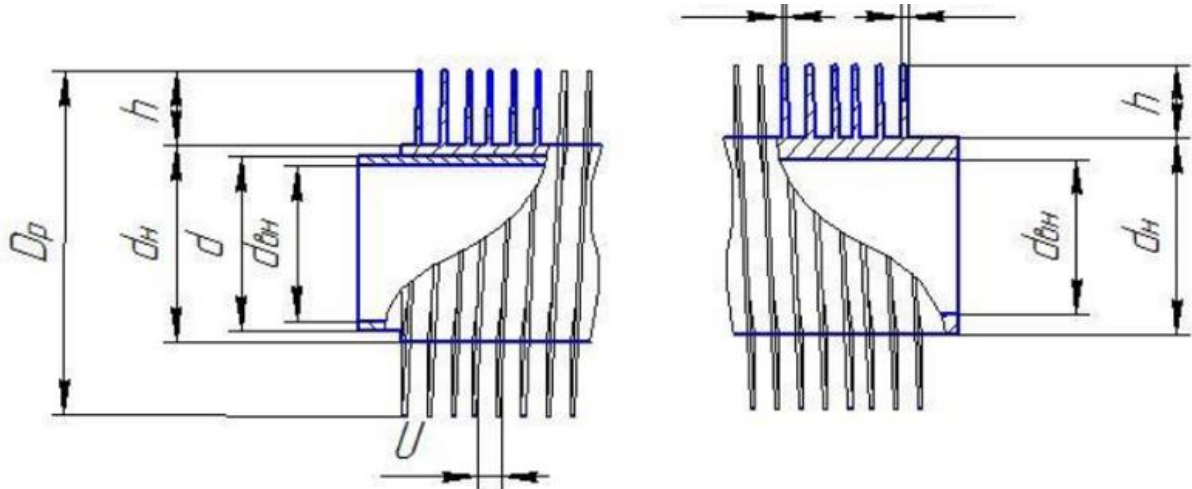


Figure 1.5 - Geometrical parameters of the finned pipes

1.3 Blowers

The second necessary element of the air-cooled heat exchanger is a blower (Fig. 1.6), which, rotating in the collector cavity, pumps air through the annulus of the sections. Significant air consumption in air coolers with a relatively low static pressure (100 - 400 Pa) is provided by axial blowers with the number of blades 4, 6 and 8 and a diameter of 0.8 - 6.0 m. air flow movement. The collector is connected to the heat exchange sections by means of a diffuser, the shape of which contributes to the alignment of the air flow over the cross section of the heat exchange section. The diffuser and blower manifold are attached to the frame on which the heat exchange sections are installed. The driven axial blower is mounted on a separate frame. Due to the variable nature of the load of the apparatus, depending on the technological mode, temperature and air humidity, the blowers 16 must be able to control the air flow over a wide range.



Figure 1.6 – Blower

Due to the variable nature of the load of the apparatus, depending on the technological regime, temperature and air humidity, the blowers must be able to control the air flow over a wide range.

The regulation of air cooling helps to save energy and raw materials, increase the service life and increase the reliability of the air cooler, and the efficient conduct of the technological process. The most significant item of the air-cooled heat exchanger operating costs is the electric power consumed by the fan drive. With rational regulation, energy savings can reach 60% of those consumed by motors at a rated heat flux.

The control system must meet the requirements of the technology, regardless of the change in the blower operation mode. Air flow control is carried out in several ways:

- changing the blower speed;
- bypassing part of the process flow through bypass lines through control valves.

The most common way to control is to change the flow of cooling air, which is carried out:

- by adjusting the air flow by changing the speed is the most practical and economical way;

- by adjusting the angle of rotation of the fan blades. Wheels with an angle of installation of blades from 10 to 30 ° are applied. The angle is changed manually with the blower stopped by reinstalling each blade separately or automatically when using a pneumatic or electromechanical drive. A step change in the angle of rotation of the blades with a stop of the fan is provided for seasonal regulation. The ability to automatically continuously change the angle of rotation of the blades allows for optimal regulation, in which the position of the blade at each moment of time corresponds to a certain air temperature. Automatic control allows maintaining the outlet temperature of the cooled product with an accuracy of $\pm 1^{\circ}\text{C}$;

- installation of special louvre devices located both before the fan and after the heat exchange sections. Louvre devices can be supplied with a manual or pneumatic drive. Turning the louvre elements reduces air flow and increases the range of operating modes. Despite the fact that the use of shutters is the most common way to control the air flow, it does not save energy costs, as it creates additional aerodynamic resistance in the air path, even when the adjusting device is fully opened. In addition, such regulation is accompanied by a decrease in blower efficiency. In some cases, the power consumed by the electric motor from the network can be reduced by 10–20%, but its increase is not excluded.

In modern designs of air coolers, joint regulation is used in several ways, the combination of which makes it possible to save energy and stabilize the outlet temperature.

The control system must meet the requirements of the technology, regardless of the change in the blower operation mode. Air flow control is carried out in several ways:

- change in the flow rate of the cooling air supplied to the heat exchange sections;
- air heating (in winter) at the air cooler inlet;

- bypassing part of the process flow through bypass lines through control valves;
- Humidification of the cooling air and the heat exchange surface, which makes it possible to reduce the temperature of the cooling air at its high temperature in summer.

The most common way to control is to change the flow of cooling air, which is carried out:

- by using two-speed electric motors, which makes it possible to have two local air flow rates and a third - minimum value when the fan is stopped (in winter, at low ambient temperature, the device can operate with the fan turned off, while the product is cooled due to natural convection). This method is the most practical and economical;

- by smooth regulation of the fan speed by using an electric motor with a variable speed, hydraulic drive, hydraulic couplings, variator, gearbox, etc.;

- by adjusting the angle of rotation of the blower blade. The angle is changed manually with the blower stopped by reinstalling each blade separately or automatically when using a pneumatic or electromechanical drive. A step change in the angle of rotation of the blades with a stop of the blower is provided for seasonal regulation. Automatic control allows maintaining the outlet temperature of the cooled product with an accuracy of ± 1 °C;

- installation of special louvre devices located both before the blower and after the heat exchange sections. Louvre devices can be supplied with a manual or pneumatic drive. Turning the louvre elements reduces the air flow and increases the range of operating modes, but this regulation is accompanied by a decrease in the efficiency of the blower.

In modern designs of air coolers, joint regulation is used in several ways, the combination of which makes it possible to save energy and stabilize the outlet temperature.

Blowers can be equipped with the following types of drives:

- direct (blower wheel mounted on the motor shaft using a keyed connection);
- with V-belt transmission;
- gear.

Drive types are shown in figures 1.7 and 1.8.

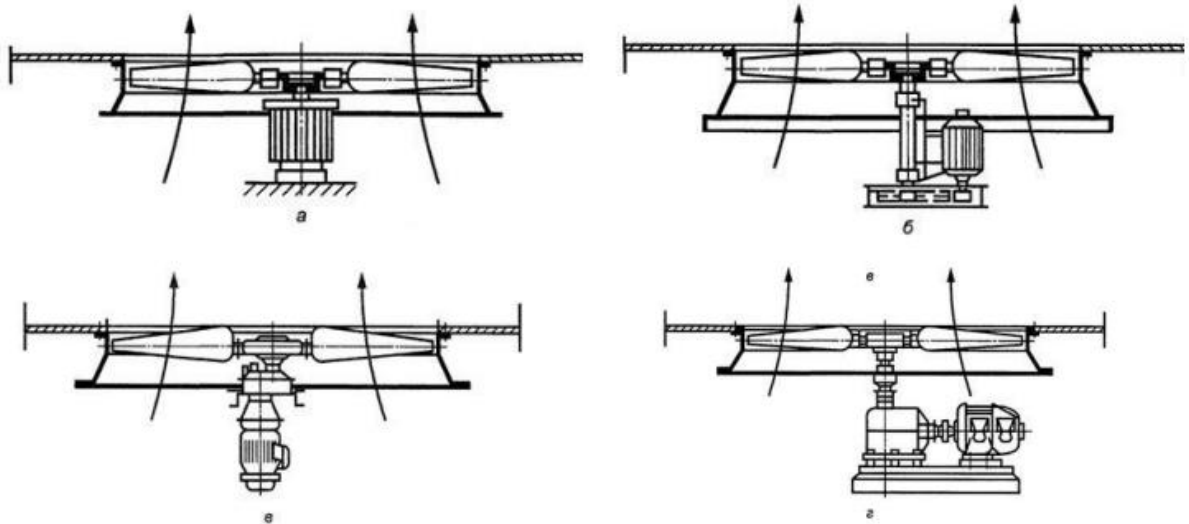


Figure 1.7 - drives of pressure-type apparatuses

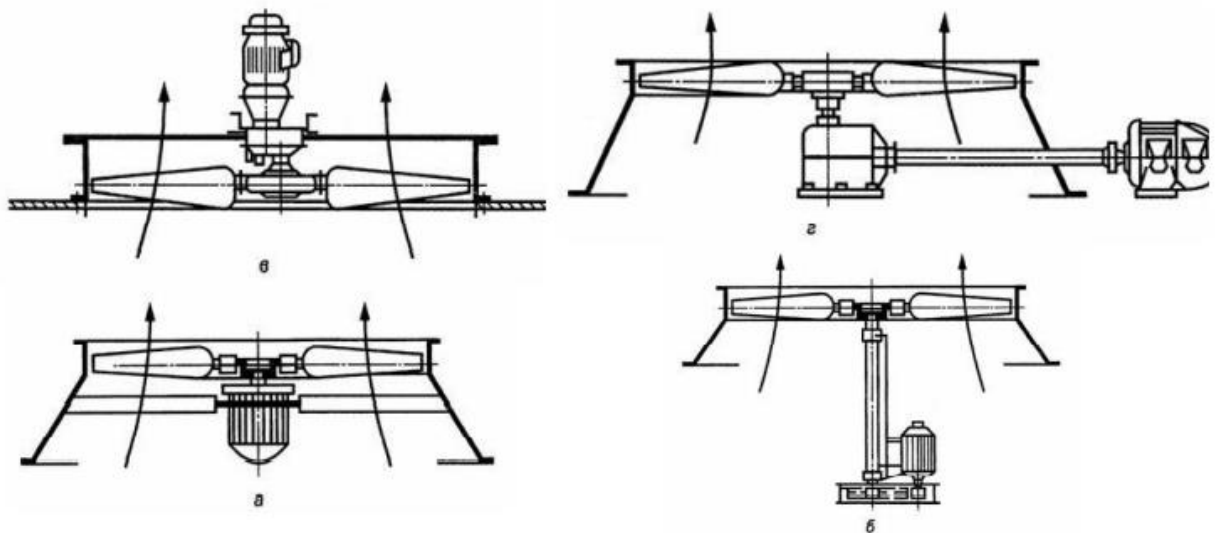


figure 1.8 - drives of devices of exhaust type

1.4 Support structures

The supporting structures on which the elements of the apparatus are mounted are made of metal or reinforced concrete. They include longitudinal and transverse support beams, made, as a rule, from standard I-beams, racks (usually

pieces of standard pipes on base plates), gussets and stiffeners. Racks are mounted on the foundation and fixed to it with anchor bolts.

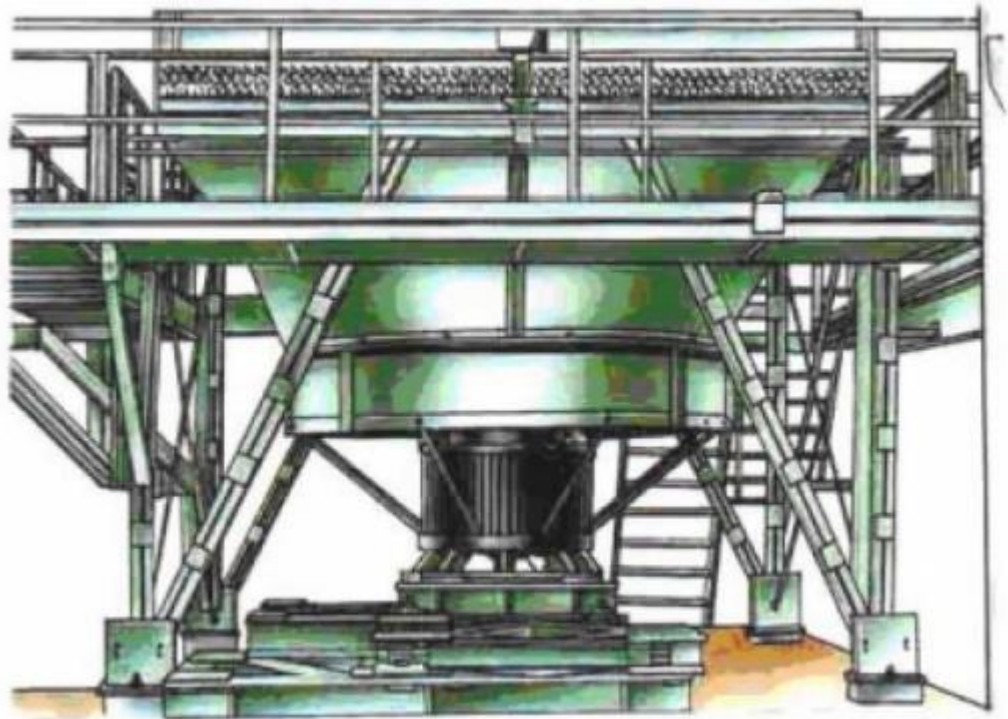


Figure 1.9 - Supporting metal structures of the air-cooled heat exchanger

1.5 Additional elements of the air cooler

Blinds. At the request of the customer, air coolers can be additionally equipped with a louver system. AVO blinds (Figure 1.10) are produced both with manual adjustment and with a pneumatic drive for turning the dampers. Apparatuses with a recirculation system, consist of panels, top, side and overflow blinds. Also, depending on the device, AVO blinds can be equipped with devices with a manual or pneumatic drive for turning the dampers, as well as a humidifier and an air heater.

Blinds are designed to regulate the operation of devices in the natural convection mode using the adjustment of the rotation of the blades.



Figure 1.10 - Blinds of the air cooler

Often, air cooler louvers are used at gas production facilities, where the gas humidity remains high for some time. To protect against hydrate formation, equipment equipped with shutters of an air-cooling apparatus helps. By changing the position of the blinds, as well as the speed of the fans, protection against hydrate formation is provided. The shutters also help to smoothly and accurately control the temperature of gaseous and other substances at the outlet.

Aluminum louvre devices (Fig. 1.11) of air coolers are a metal structure made of aluminum that holds the louvre blades and ensures their synchronous movement. Blinds are not a fire and explosion hazardous product and do not work under pressure, do not cause sparking during operation.



Figure 1.11 - Aluminum louvre devices

The advantages of aluminum louvres include the following:

- all-aluminum design significantly increases the service life of louvers, as well as their trouble-free operation throughout the entire period of operation;
- production of the frame and blades from extruded aluminum profiles ensures the rigidity of the entire structure and allows you to save the geometric dimensions necessary for the efficient operation of the device, even under the influence of snow load and deformation during installation and operation;
- unlike conventional blinds, the proposed aluminum blinds do not require painting and, accordingly, in addition to the aesthetic effect, greatly simplify their maintenance during operation by saving money and time for updating the protective paintwork.

The air recirculation system (P) is designed to regulate cooling air flows using forced and natural air convection. The air recirculation system consists of recirculation and transfer chambers and louvered grilles, which ensure the organization of circulation (movement) modes of the air heated in the heat exchange sections, and serves to prevent the product from overcooling in winter by changing the angle of the louver blades.

Air heaters are designed for preliminary heating of the air entering the heat exchange sections in order to prevent overcooling of the product in the ACH, 2 ACH. (ACH – air cooler horizontal)

Vibration transducers are designed to convert mechanical vibrations into electrical vibrations and transmit electrical vibrations to the control panel of the apparatus to the vibration sensor. The frequency converter (FC) is designed for remote control of the rotation speed of the fan wheels. The type of frequency converter is set depending on the technical characteristics of the electric motor.