

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа»

УДК 622.279.51:620.9-027.236

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ01	Галимов Данил Ильдарович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Шадрина Анастасия Викторовна	д.т.н, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОНД	Шарф Ирина Валерьевна	д.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	к.т.н., доцент		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОИЯ	Айкина Татьяна Юрьевна	к. филолог. н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

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

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

ПК(У)-5	Способность участвовать в управлении технологическими комплексами, принимать решения в условиях неопределенности
ПК(У)-6	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)-7	Способность применять современные программные комплексы для проектирования технических устройств, аппаратов и механизмов, технологических процессов в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП ОНД ИШПР

_____ _____ А.В. Шадрина
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ01	Галимову Данилу Ильдаровичу

Тема работы:

«Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	08.02.2022 г. № 39-42/с

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 являются аппараты воздушного охлаждения газа 2АВГ-75 на КС</p> <div style="background-color: black; width: 100px; height: 15px; margin-top: 5px;"></div>
---	---

<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) Дать характеристику компрессорной станции и установленным на ней аппаратам воздушного охлаждения; 2) Рассмотреть методы совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа; 3) Проанализировать рассмотренные методы совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа; 4) Дать рекомендацию по использованию методов/метода совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа для повышения энергоэффективности компрессорной станции.
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Рисунки и таблицы</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Шарф Ирина Валерьевна, профессор</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Сечин Андрей Александрович, доцент</p>
<p>Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШПИБ</p>	<p>Айкина Татьяна Юрьевна, доцент</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Разделы на русском языке: реферат, введение, заключение, разделы 1-7, приложения Б,В,Г,Д.</p>	
<p>Разделы на английском языке: приложение А.</p>	

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

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>доцент ОНД</p>	<p>Шадрина Анастасия Викторовна</p>	<p>д.т.н, доцент</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>2БМ01</p>	<p>Галимов Данил Ильдарович</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ01	Галимов Данил Ильдарович

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов

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 совершенствовании аппаратов воздушного охлаждения газа
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	1. Государственные элементные сметные нормы на монтажные работы ГЭСНм-2001, Сборник № 8 - Электротехнические установки 2. Федеральные единичные расценки ФЕР-20, Вентиляция и кондиционирование воздуха
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	1. Налоговый кодекс Российской Федерации. ФЗ-213 от 24.07.2009 (в редакции от 26.03.2022 №67-ФЗ) 2. Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 №1 (ред. от 27.12.2019) "О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы"

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Обоснование экономической целесообразности внедрения частотно-регулируемого привода, рабочего колеса, выполненного из композитных материалов, коллектора плавного входа на аппаратах воздушного охлаждения газа 2АВГ-75
<i>2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Расчет доходов и затрат на внедрение и обслуживание оборудования и экономии электроэнергии в денежном выражении
<i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка экономической эффективности применения частотно-регулируемого привода, рабочего колеса, выполненного из композитных материалов и коллектора плавного входа на аппаратах воздушного охлаждения 2АВГ-75

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ01	Галимов Данил Ильдарович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ01	Галимов Данил Ильдарович

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 Нефтегазовое дело: надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов

Тема ВКР:

Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: аппараты воздушного охлаждения газа 2 АВГ-75 на компрессорной станции.</p> <p>Область применения: Компрессорные станции газотранспортирующих предприятий.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 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. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022); 2. ПРИКАЗ от 15 декабря 2020 года N 528 Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасного ведения газоопасных, огневых и ремонтных работ; 3. Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов 116-ФЗ от 21.07.1997г. с изменениями от 11.06.2021.
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания; 2. Опасность взрыва и пожара в местах образования взрывоопасных и пожароопасных смесей; 3. Движущиеся твердые объекты, наносящие удар по телу работающего; 4. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током; 5. Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума.

	<p>Используемые средства индивидуальной и коллективной защиты: специальная одежда из антистатических материалов; специальная обувь, исключающая искрообразование; каска с подбородочным ремнём, подобранным по размеру и закрепленным на подбородке; перчатки х/б, рукавицы; очки защитные; наушники противозвучные; заземление электроустановок; изоляция; устройства контроля и сигнализации.</p> <p>Расчет: освещение</p>
3. Экологическая безопасность при эксплуатации:	<p>Атмосфера: выброс природного газа. Гидросфера: загрязнение водных объектов отходами производства и мусором. Литосфера: 1. Повреждение почвенно-растительного покрова; 2. Загрязнение почвы отходами производства и мусором</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации:	<p>Возможные ЧС: наводнения, лесные пожары, выброс природного газа в атмосферу, взрыв природного газа. Наиболее типичная ЧС: взрыв природного газа.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ01	Галимов Данил Ильдарович		

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»
 Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2021/2022 учебного года)

Форма представления работы:

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)
14.01.2022	Обзор литературы	10
28.03.2022	Сбор данных	15
15.04.2022	Анализ методов повышения энергоэффективности аппаратов воздушного охлаждения газа	20
29.04.2022	Расчет повышения энергоэффективности компрессорной станции от внедрения технологий на аппаратах воздушного охлаждения газа	15
06.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
12.05.2022	Социальная ответственность	10
19.05.2022	Заключение	10
25.05.2022	Презентация	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Шадрина Анастасия Викторовна	д.т.н, доцент		

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 107 с. 17 рис., 17 табл., 46 источников, 5 прил.

Ключевые слова: компрессорная станция, аппарат воздушного охлаждения газа, повышение энергоэффективности.

Объектом исследования является (ютя) аппарат воздушного охлаждения газа 2АВГ-75.

Цель работы – проведение аналитического обзора технической литературы, статей, учебников и патентов в области повышения энергоэффективности магистрального транспорта газа, проведение расчетов для формирования рекомендаций по повышению энергоэффективности компрессорной станции совершенствованием аппаратов воздушного охлаждения.

В процессе исследования проводились расчет экономического эффекта и повышения энергоэффективности за счет совершенствования аппарата воздушного охлаждения 2АВГ-75 путем внедрения частотно-регулируемого привода, рабочего колеса, выполненного из композитных материалов, коллектора плавного входа.

В результате исследования были получены значения повышения энергоэффективности за счет внедрения новых технологий и получен результат экономической целесообразности применения данных технологий. Наибольший эффект дает внедрение частотно-регулируемого привода 59 % экономии электроэнергии в год, 9,2 % для рабочего колеса из композитных материалов, 1,37 % для коллектора плавного входа. При этом экономически целесообразным является применение частотно-регулируемого привода со сроком окупаемости – 2 года и 2 месяца и может быть рекомендовано для применения на компрессорной станции.

Область применения: компрессорные станции магистрального транспорта газа.

Экономическая эффективность/значимость работы: применение частотно-регулируемого привода на аппаратах воздушного охлаждения 2АВГ-75 дает среднюю экономию электроэнергии в год – 59 %, при этом срок окупаемости составляет 2 года и 2 месяца.

					Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.		Галимов Д.И.			Реферат	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					10	108
Рук. ООП		Шадрина А.В.						
						НИ ТПУ ИШПР ГРУППА 2БМ01		

Оглавление

Введение	14
1. Характеристика компрессорной станции [REDACTED]	16
2. Общие сведения об аппаратах воздушного охлаждения газа	18
3. АВО газа на КС [REDACTED]	24
4. Методы совершенствования АВО газа.....	28
4.1 Установка частотно-регулируемого привода	29
4.2 Установка рабочего колеса с лопастями, выполненными из композитных материалов.....	33
4.3 Совершенствование системы очистки оребренных поверхностей трубных пучков	36
4.4 Совершенствование коллектора АВО газа	40
5. Расчет повышения энергоэффективности АВО газа 2АВГ-75	43
5.1 Внедрение частотно-регулируемого привода АВО газа 2АВГ-75	43
5.2 Внедрение рабочего колеса, выполненного из композитных материалов и коллектор плавного входа.....	49
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	53
6.1 Эффект от реализации мероприятий по повышению энергетической эффективности АВО 2АВГ-75	54
6.1.1 Экономия электроэнергии в денежном выражении	54
6.1.2 Капитальные вложения.....	54
6.2 Эксплуатационные затраты	55
6.3 Оценка экономического эффекта от совершенствования аппаратов воздушного охлаждения.....	57
6.4 Оценка экономического эффекта от применения частотно-регулируемого привода.....	60
7. Социальная ответственность	63
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	64

					<i>Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа</i>						
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>							
<i>Разраб.</i>	<i>Галимов Д.И.</i>				Оглавление						
<i>Руковод.</i>	<i>Шадрина А.В.</i>								<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Рук. ООП</i>	<i>Шадрина А.В.</i>								12	107	
					НИ ТПУ ИШПР ГРУППА 2БМ01						

7.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.64	
7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	65
7.2 Производственная безопасность	67
7.2.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания	67
7.2.2 Опасность взрыва и пожара в местах образования взрывоопасных и пожароопасных смесей	68
7.2.3 Движущиеся твердые объекты, наносящие удар по телу работающего	69
7.2.4 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	70
7.2.5 Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума	70
7.2.6 Расчет искусственного освещения	71
7.3 Экологическая безопасность	74
7.3.1 Воздействие на атмосферу.....	74
7.3.2 Воздействие на литосферу и гидросферу	75
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
Заключение.....	79
Список использованных источников	80
Приложение А	85
Приложение Б	99
Приложение В	101
Приложение Г	103
Приложение Д.....	105

Введение

Неотъемлемой частью топливно-энергетического комплекса Российской Федерации является газовая отрасль, которая включает в себя газотранспортные сети. Перемещение газа по газотранспортным сетям осуществляется через магистральные газопроводы. Каждые 100 – 150 км на трассе магистральных газопроводов располагаются компрессорные станции, которые очищают, компримируют и охлаждают газ. Компримирование газа является важнейшим процессом транспорта газа, при этом одним из самых энергоемких. Эффективное использование энергоресурсов, рациональное использование углеводородного топлива, снижение потерь газа, экономия электроэнергии представляются основными направлениями повышения эффективности компрессорных станций. На сегодняшний день газотранспортная система России включает в себя 254 компрессорные станции, на которых в сумме установлено более 3800 газоперекачивающих агрегатов [1].

Компрессорные станции, однако, ограничиваются не только своей важной ролью в трубопроводном транспорте. Одни только газотурбинные установки, входящие в состав газоперекачивающих агрегатов, потребляют около 9 % перекачиваемого газа. Эффективное использование энергоресурсов возможно при повышении качества технологических процессов и снижении потерь на объектах магистрального газопровода. Разработка методов по повышению эффективности работы компрессорных станций является важной задачей.

Повышение эффективности работы АВО газа на КС МГ является одним из потенциальных источников снижения энергетических затрат при магистральном транспорте газа. На охлаждение компримированного газа

					Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.	Галимов Д.И.				Введение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Шадрина А.В.						14	107
Рук. ООП	Шадрина А.В.					НИ ТПУ ИШПР ГРУППА 2БМ01		

тратится значительная часть потребления электроэнергии компрессорной станцией: 65-75% от общего объема, поэтому проблема снижения затрат потребляемой электроэнергии является актуальной [2].

Целью магистерской диссертации является проведение аналитического обзора технической литературы, статей, учебников и патентов в области повышения энергоэффективности магистрального транспорта газа, проведение расчетов для формирования рекомендаций по повышению энергоэффективности компрессорной станции совершенствованием аппаратов воздушного охлаждения.

Для достижения цели магистерской диссертации были сформированы следующие задачи:

- 1) Дать характеристику компрессорной станции и установленным на ней аппаратам воздушного охлаждения;
- 2) Рассмотреть методы совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа;
- 3) Проанализировать рассмотренные методы совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа;
- 4) Дать рекомендацию по использованию методов/метода совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа для повышения энергоэффективности компрессорной станции.

1. Характеристика компрессорной станции [REDACTED]

[REDACTED] ЛПУМГ и объекты, которые оно обслуживает располагаются в [REDACTED]

[REDACTED] Высота промплощадки компрессорной станции [REDACTED] – 150 м над уровнем моря. Ближайшие населенные пункты [REDACTED]

Гидравлическое сопротивление в трубопроводе приводит к потере давления с увеличением длины газопровода. С падением давления так же уменьшается и пропускная способность газопровода. Снижается температура газа за счет передачи тепла к стенкам трубы, а затем в почву. Компрессорные станции поддерживают давление в газопроводе и соответственно обеспечивают заданную пропускную способность и расход газа в магистральном газопроводе. Степень повышения давления газа в газоперекачивающем агрегате зависит от перепада давления на участках между компрессорными станциями. Давление на выходе из аппарата воздушного охлаждения газа является давлением в начале участка газопровода. Давление на входе газоперекачивающего агрегата является давлением в конце участка.

Современная компрессорная станция – это сложное инженерное сооружение, обеспечивающее основные технологические процессы по подготовке и транспорту природного газа

Компрессорная станция [REDACTED] относится к [REDACTED] линейно-производственному управлению магистральных газопроводов [REDACTED]. [REDACTED] включает в себя 10 компрессорных цехов. Каждый цех работает на нужды определенного

					Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.	Галимов Д.И.				Характеристика компрессорной станции [REDACTED]	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Шадрина А.В.						16	107
Рук. ООП	Шадрина А.В.							
						НИ ТПУ ИШПР ГРУППА 2БМ01		

магистрального газопровода. Так, например, компрессорный цех 4 повышает работает на нужды магистрального газопровода [REDACTED] В таблице 1 представлена информация о компрессорном цехе 4 компрессорной станции [REDACTED]

Таблица 1 – Характеристика компрессорного цеха 4 компрессорной станции [REDACTED]

Объект	Назначение	Состав	Мощность	Способ производства
КЦ-4	Поддержание расчетной пропускной способности магистрального газопровода [REDACTED]	ГПА-Ц-16/76 – 5 шт.	105 млн. м ³ /сут	Очистка, осушка, сжатие и охлаждение природного газа для транспорта по МГ

В состав компрессорного цеха 4 входит следующее основное оборудование: 6 пылеуловителей типа ГП604.01.00.000, 5 газоперекачивающих агрегатов ГПА-Ц-16 с ЦБН НЦ-16/76, 12 аппаратов воздушного охлаждения газа 2АВГ-75, газовые сепараторы низкого и высокого давления, блок подготовки импульсного, пускового и топливного газа, утилизаторы тепла.

Благодаря снижению температуры технологического газа, поступающего в газопровод после его охлаждения в АВО, уменьшается средняя температура газа на линейном участке трубопровода и как следствие снижается температура и увеличивается давление газа на входе в последующую КС. В результате уменьшаются степень сжатия на последующей станции (с сохранением давления на выходе из КС) и энергозатраты на компримирование газа по КС.

Конструктивные отличия различных типов АВО заключаются во взаимном пространственном расположении теплообменника и вентиляторов [5].

Схемы внешней трубопроводной обвязки систем охлаждения газа с АВО бывают:

- параллельные;
- параллельно-последовательные;
- комбинированные, в которых наряду с АВО используются рекуперативные теплообменники обычного типа.

По расположению теплообменных секций АВО классифицируются на:

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

Разберем конструкцию аппарата воздушного охлаждения на примере горизонтального аппарата АВГ изображенного на рисунке 1.

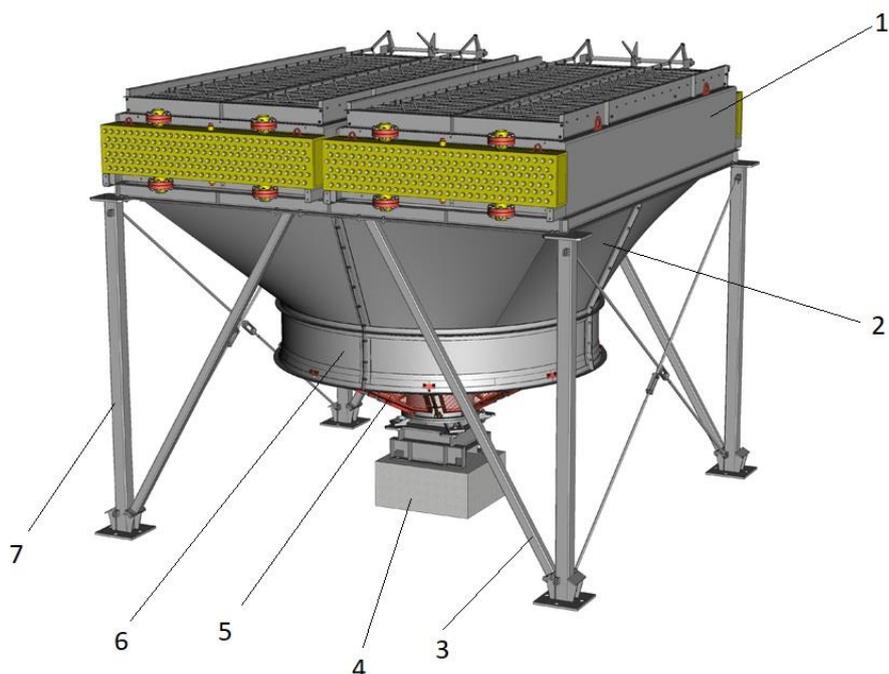


Рисунок 1 – Аппарат воздушного охлаждения типа АВГ

АВГ состоит из нескольких теплообменных секций 1 прямоугольной конфигурации, составленных из поперечно оребренных биметаллических труб длиной 4 или 8 метров. На несущую металлоконструкцию 7 крепится диффузор 2, теплообменные секции 1 и коллектор вентилятора 6. Вентилятор 5 установленный на вал привода, который приводится во вращение электродвигателем 4, вращается в полости коллектора и прогоняет воздух через межтрубное пространство секций.

Газ протекающий внутри труб, охлаждается за счет передачи своего тепла воздуху через ребристую поверхность труб. Наиболее часто вентиляторы располагаются под теплообменником, т.е. используется нагнетательный принцип подачи охлаждающего воздуха. Нижнее горизонтальное расположение вентилятора создает удобство обслуживания, простоту совмещения с приводом, кроме того вентилятор работает в среде ненагретого воздуха, что обеспечивает энергетические преимущества при эксплуатации АВО.

Компримированный газ после нагнетателей подается в трубчатые теплообменные секции АВО (трубы в секциях АВГ располагаются

					Общие сведения об аппаратах воздушного охлаждения газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

горизонтально). Охлаждающий воздух поступает в аппарат снизу, проходит коллектор (где поток разгоняется и выравнивается поле скоростей) и рабочим колесом осевого вентилятора подается через диффузор (где повышается статическое давление, выравнивается поле скоростей закрученного потока) к теплообменным секциям. Пройдя секции нагретый воздух уходит в атмосферу. Естественное движение нагреваемого воздуха снизу-вверх позволяет использовать эту самотягу для снижения мощности электропривода вентилятора. Количество подаваемого воздуха регулируется углом постановки лопастей вентилятора. Чем круче поставлены лопасти, тем выше производительность, но одновременно возрастает мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора.

Важным показателем является перепад на установке охлаждения газа – разность между температурой газа на входе и выходе АВО. Эта величина называется глубиной охлаждения. Следует отметить, что глубина охлаждения технологического газа ограничена температурой наружного воздуха, что особенно сказывается в летний период эксплуатации. Естественно, что температура газа после охлаждения в АВО не может быть ниже температуры наружного воздуха. Аппараты воздушного охлаждения газа являются экологически чистыми устройствами для охлаждения и относительно просты в эксплуатации.

Трубы в АВО имеют оребрение по наружной поверхности. Основные типы оребрения труб – это навитые алюминиевые или стальные ребра, а также ребра, скрепленные с несущей трубой методом горячей гальванизации или с помощью пайки на твердых припоях. Минимальная толщина ребер 0,35 мм.

Количество вентиляторов, располагаемых в аппарате, зависит от длины труб: в аппаратах с длиной труб до 4 м устанавливают один вентилятор по длине секции, в аппаратах с длиной труб до 8 м – не менее двух. Наличие на АВО двух вентиляторов в сочетании с автоматическими устройствами позволяет упростить схему регулирования воздушного потока [6].

Поворот лопастей вентилятора вручную позволяет несколько раз в течение суток изменять рабочий режим аппарата воздушного охлаждения, что обеспечивает экономию расхода электроэнергии до 60 % [6].

При отключении двигателей охлаждение труб аппарата воздушного охлаждения происходит за счет естественной конвекции воздуха. В теплое время такой теплосъем составляет 20-30 % теплоты, отбираемой при принудительном обдуве труб, но в холодное время года он может достигать и 65 % теплопроизводительности аппарата. Установлено, что при температуре воздуха ниже 25 °С может быть обеспечена полная расчетная теплопроизводительность аппарата и без работы вентиляторов [6].

В настоящее время на компрессорных станциях наибольшее распространение имеют аппараты воздушного охлаждения горизонтального тип, которые не требуют подготовки теплоносителей, имеют простые схемы и надежны в эксплуатации.

Количество эксплуатируемых АВО газа в ПАО «Газпром» насчитывает около 9000 шт.

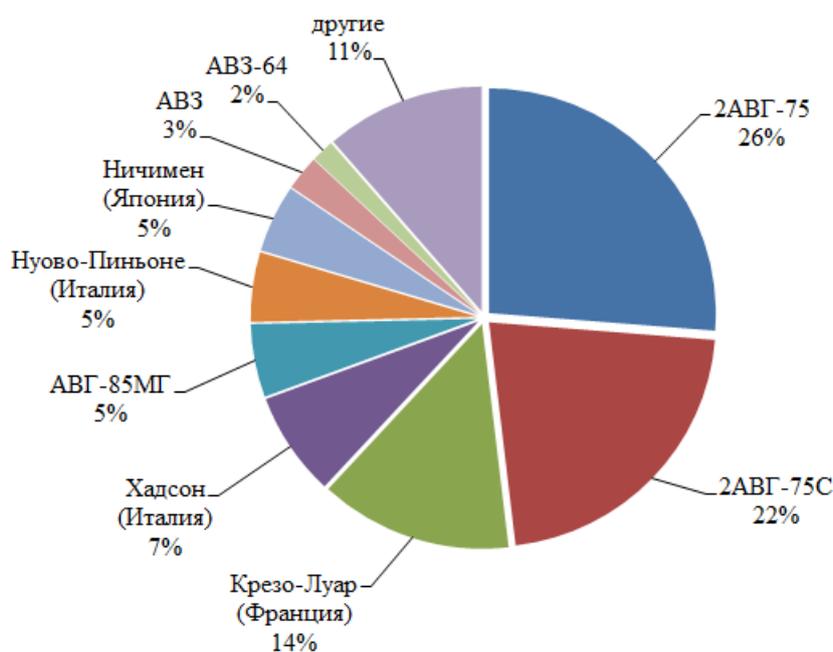


Рисунок 2 – Основные типы АВО газа [2]

В основном это отечественные аппараты типа АВГ-85МГ, 2АВГ-75, а также зарубежные аппараты типа Хадсон, Крезолуар, Ничимен и другие их распределение показано на рисунке 2.

Эксплуатация и обслуживание АВО газа должны проводиться в соответствии с производственной инструкцией (технологическим регламентом), составленной на основе инструкций заводов-изготовителей АВО, проектной документации и Правил технической эксплуатации магистральных газопроводов [7].

Количество аппаратов АВО, включенных в работу, определяется диспетчером или автоматически с учетом природно-атмосферных условий и заданного режима транспортирования газа. При отклонении температуры газа от установленных пределов на выходе АВО и отсутствии при этом технических средств для ее изменения диспетчерская служба (ДС) принимает решение об изменении режима работы КС. Пределы изменения температуры газа на выходе АВО должны устанавливаться ДС с учетом обеспечения продольной устойчивости магистрального газопровода, оптимального режима работы, сохранности изоляции, предотвращения гидратообразования, температуры наружного воздуха.

Параметры, влияющие на необходимое количество работающих вентиляторов АВО газа:

- 1) Количество работающих ГПА (влияет на объем охлаждаемого газа);
- 2) Температура наружного воздуха (влияет на эффективность работы АВОг);
- 3) Температура воздуха до АВОг;
- 4) Температура воздуха за АВОг;
- 5) Угол атаки лопастей вентиляторов АВОг;
- 6) Чистота секций АВОг.

3. АВО газа на КС [REDACTED]

В [REDACTED] ЛПУМГ применяются следующие типы АВО газа: 2АВГ-75, «АWG» и АВО газа фирмы «Ничимен».

В четвертом цехе КС [REDACTED] установлены отечественные аппараты воздушного охлаждения 2АВГ-75 в количестве 12 штук. Данные аппараты воздушного охлаждения были произведены в 1984 году на Борисоглебском заводе химического машиностроения и введены в эксплуатацию в 1986 году. Каждый аппарат состоит из трех трубных секций прямоугольной формы, устанавливаемых на опорную металлоконструкцию. Каждая секция состоит из штампованных камер, боковых стенок и поперечно оребренных труб, выполненных из алюминия АД-1. Расположение труб в секции горизонтальное. Количество труб – 528, 6 рядов, 3 секции. Длина трубы – 12 метров. К металлоконструкции крепится два диффузора и два коллектора вентиляторов. Секции укреплены на раме, опирающейся на стойку аппарата. К этой же раме и стойкам крепятся диффузор и коллектор вентилятора. Режим работы – стационарный. На рисунке 3 изображен такой аппарат воздушного охлаждения газа.

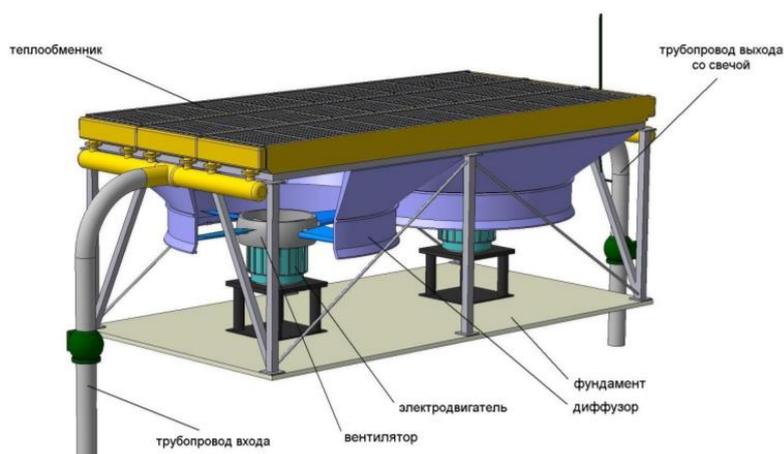


Рисунок 3 – Аппарат воздушного охлаждения газа 2АВГ-75

					<i>Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.	Галимов Д.И.				АВО газа на КС [REDACTED]	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Шадрина А.В.						24	107
Рук. ООП	Шадрина А.В.					НИ ТПУ ИШПР ГРУППА 2БМ01		

На каждом аппарате используются два тихоходных электродвигателя серии ВАСО с установкой вентилятора без редуктора, непосредственно на вал двигателя. Аппарат предназначен для работы на открытом воздухе в макроклиматических районах с холодным климатом, со средней температурой не ниже минус 55 °С. Несущая конструкция аппарата рассчитана для установки аппарата в районах с сейсмичностью до 7 баллов и со скоростным напором ветра по IV географическому району. Аппарат предусмотрен для работы на высоте до 1000 м над уровнем моря.

В таблице 2 представлены характеристики аппарата воздушного охлаждения газа 2АВГ-75.

Таблица 2 – Технические характеристики АВО газа 2АВГ-75

Наименование параметра	Значение
Давление г/и, кгс/см ²	100
Расчетное или условное давление, кгс/см ²	75
Температура стенки расчетная, °С	До +150
Рабочая среда и ее коррозионные свойства	Природный газ, не коррозионная
Количество теплообменных секций в аппарате	3
Количество рядов труб в секции	6
Поверхность теплообмена аппарата, м ²	
Наружная	9930
внутренняя	430
Тип приводного электродвигателя	ВАСО 16-14-24
Мощность приводного двигателя	37 кВт
Частота вращения рабочего колеса	250 об/мин
Тип вентилятора	УК-2М
Количество лопастей вентилятора	4
Диаметр рабочего колеса вентилятора, мм	5000

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Эффективность работы установок очистки и охлаждения газа ежедневно контролируется эксплуатационным персоналом компрессорной станции, а также ежесменно – оперативным персоналом компрессорной станции. Отключение или включение аппаратов, стравливание и продувки выполняются по согласованию или команде начальника смены диспетчерской службы, при этом особое внимание уделяется перепадам давления на аппаратах и установках (в соответствии с паспортными параметрами), поддержанию температуры газа на выходе АВОг в соответствии с заданием диспетчерской службы. При снижении перепада между температурой газа до АВОг и температурой наружного воздуха, т.е. когда температура газа до АВОг меньше или равна температуре наружного воздуха плюс 10 градусов Цельсия – отключение вентиляторов АВОг необходимо производить плавно, во всех случаях не допускать скорость изменения температуры газа после АВОг более 2 градусов Цельсия в час, но не более 5 градусов Цельсия в сутки.

Для поддержания необходимой температуры после аппарата воздушного охлаждения газа требуется использовать наименьшее количество включенных АВО газа. Сначала включаются вторые по ходу движения газа вентиляторы, так как природный газ охлаждается в режиме естественной конвекции в секции первого вентилятора. Затем включают первые по ходу движения газа вентиляторы. Отключение происходит в обратной очередности. Соблюдение температурного режима необходимо при условии соблюдения условия, при котором температура газа на входе последующей компрессорной станции должна быть равна температуре грунта плюс один градус.

На рисунке 4 показана схема расположения АВО газа на 4 компрессорном цехе КС XXXXXXXXXX

					АВО газа на КС XXXXXXXXXX	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

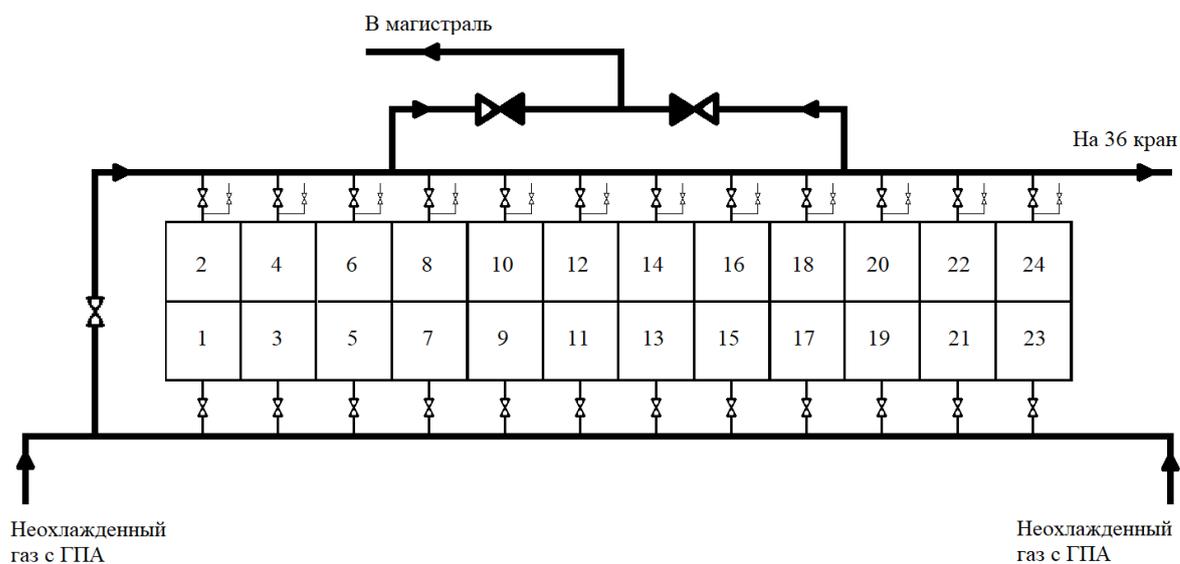


Рисунок 4 – Технологическая схема АВО газа 4 компрессорного цеха КС



Установка охлаждения газа включает в себя 12 параллельно включенных аппаратов воздушного охлаждения газа 2АВГ-75, по 2 вентилятора в каждом аппарате.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4. Методы совершенствования АВО газа

Значительная часть энергии – 65-75% от общего потребления компрессорной станции затрачивается на обеспечение электроэнергией приводов вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения. На компрессорном цехе суммарная мощность электродвигателей может составлять сотни киловатт, что значительно влияет на электропотребление всей компрессорной станции [8].

Большое распространение получили аппараты воздушного охлаждения газа 2АВГ-75, некоторые из которых находятся в эксплуатации уже более 30 лет. За это время было проведено множество исследований, выполнен ряд разработок и нововведений в конструкцию аппаратов воздушного охлаждения для увеличения их энергоэффективности. Наиболее перспективными направлениями являются:

1) Установка на двигатели частотно-регулируемых приводов для управления частотой вращения вентиляторов и соответственно более плавного регулирования и точного контроля температуры на выходе из аппарата воздушного охлаждения газа;

2) Использование композитных материалов в рабочем колесе аппарата воздушного охлаждения. Лопасты из композитного материала могут обладать более сложной аэродинамической формой, необходимой для более эффективной работы рабочего колеса. Также элементы рабочих колес, выполненных из композитных материалов, обладают меньшим весом по сравнению с металлическими;

3) Оптимизация конструкции диффузора для эффективного движения воздушных потоков сквозь оребренные трубные пучки;

					<i>Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Галимов Д.И.</i>				Методы совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Шадрина А.В.</i>						28	107
<i>Рук. ООП</i>	<i>Шадрина А.В.</i>					НИ ТПУ ИШПР ГРУППА 2БМ01		

4) Установка системы очистки трубных пучков от накопившейся грязи и пыли для увеличения глубины охлаждения газа.

4.1 Установка частотно-регулируемого привода

Для регулирования глубины охлаждения газа и изменения режима работы установки охлаждения газа используются различные методы или совокупность этих методов.

На сегодняшний день наиболее распространенным методом регулирования температуры на выходе из ГПА является дискретный метод. В работе находится определенное количество АВО и при повышении или понижении температуры газа – аппараты включаются или отключаются. Данный метод регулирования является некачественным. Отключение или включение одного из вентиляторов приводит к резкому изменению температуры газа и быстрому изменению темпов охлаждения. Это приводит к нестабильным термодинамическим процессам, приводящим к стресс-коррозии в стенках трубопровода [4]. Дискретный метод регулирования приводит к сокращению срока службы вентиляторов из-за высоких нагрузок на рабочие колеса и пиковых электрических нагрузок. Другой отрицательной стороной такого метода регулирования температуры является повышенное расходование электроэнергии. Частые запуски и остановки электродвигателей приводит к непроизводительным затратам электроэнергии и снижению ресурса электродвигателей.

В различные периоды года, обычно дважды в год, регулирование можно так же производить изменением угла установки лопастей рабочего колеса, но данная операция трудоемка, требует определенной точности, может привести к уменьшению срока эксплуатации аппарата при ненадлежащей установке лопастей.

Регулирование можно производить при помощи жалюзей, устанавливаемых для рециркуляции теплого воздуха. Однако такой способ регулирования энергетически неэффективен [5].

В настоящее время в целях повышения качества управления температурными режимами магистральных газопроводов на линейных КС интенсивно внедряется частотное регулирование производительности вентиляторов АВО газа, которое заключается в изменении скорости вращения ротора электродвигателя (ЭД) пропорционально частоте питающего напряжения [9].

Ранее возникали сложности с установкой частотных преобразователей на двигатели аппаратов воздушного охлаждения из-за их высокой стоимости и низкой надежности, однако в настоящее время имеется широкий ассортимент доступных и надежных преобразователей частоты, в том числе отечественного производства.

Использование частотного регулирования двигателей имеет большой потенциал повышения энергоэффективности компрессорной станции. Величина экономии электроэнергии варьируется от 20 до 90 % [8].

Применение частотных преобразователей на двигателях аппаратов воздушного охлаждения дает не только энергосберегающий эффект, но и обладает следующими преимуществами:

- 1) высокая точность регулирования выходной температуры;
- 2) отсутствие необходимости в ручной перестановке лопастей при сезонном изменении угла постановки лопастей;
- 3) нейтрализация эффекта рециркуляции воздуха через нерабочие аппараты;
- 4) плавный пуск и разгон вентиляторов.

При регулировании частоты вращения вентилятора температурный перепад изменяется пропорционально частоте вращения вентиляторов.

Мощность на валу зависит от частоты вращения в третьей степени. Поэтому при работе аппаратов воздушного охлаждения с неполной нагрузкой потребление электроэнергии значительно понижается.

$$N_{\text{АВО}} \sim n^3, \quad (1)$$

где $N_{\text{АВО}}$ – мощность, потребляемая электродвигателями аппарата воздушного охлаждения;

n – частота вращения рабочего колеса аппарата воздушного охлаждения.

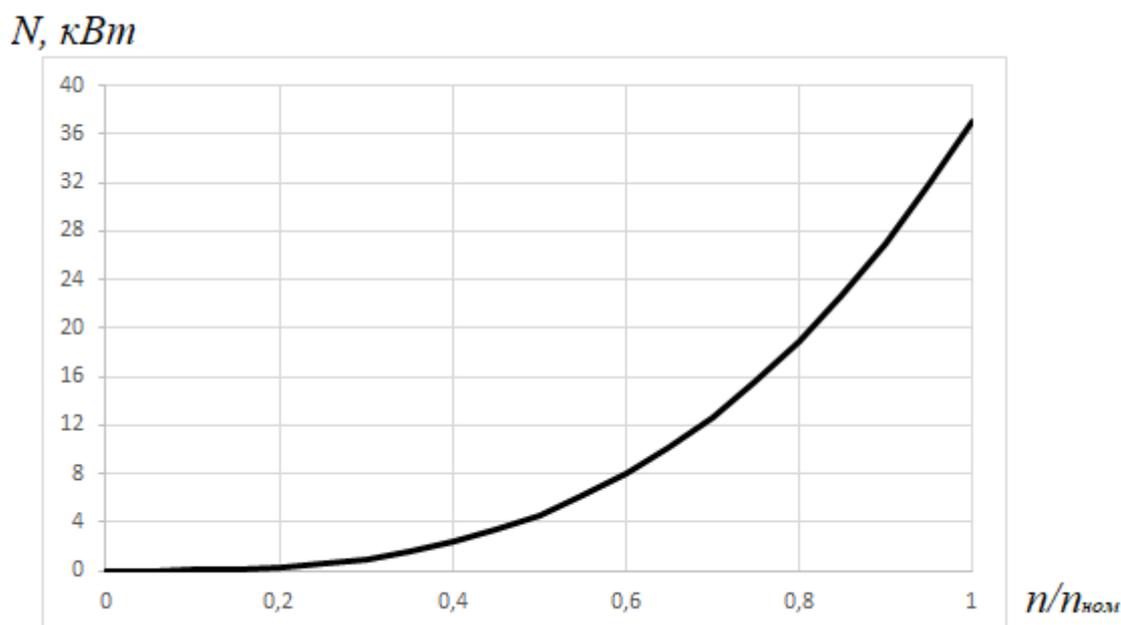


Рисунок 5 – Зависимость мощности электродвигателя от относительной частоты вращения

Данная технология применяется в целях обеспечения высокой точности поддержания требуемой температуры. газа на выходе из АВО на основе управления охлаждением газа в автоматическом режиме по обратной связи от термодатчика в выходном коллекторе АВО. Скорость вращения вентиляторов регулируется преобразователями частоты за счет изменения частоты тока и напряжения, подаваемых на электродвигатели. Затраты электроэнергии на поддержание заданной температуры газа за счет частотного регулирования производительности вентилятора оказываются меньше, чем при дискретном управлении. Технология охлаждения газа на основе

частотного регулирования скорости вращения вентиляторов АВО газа является высокоэффективной и позволяет в автоматическом режиме с высокой точностью поддерживать требуемую температуру газа на выходе из АВО со среднегодовой экономией электрической энергии до 20 % [7]. Другие источники говорят об экономии до 80 % [10].

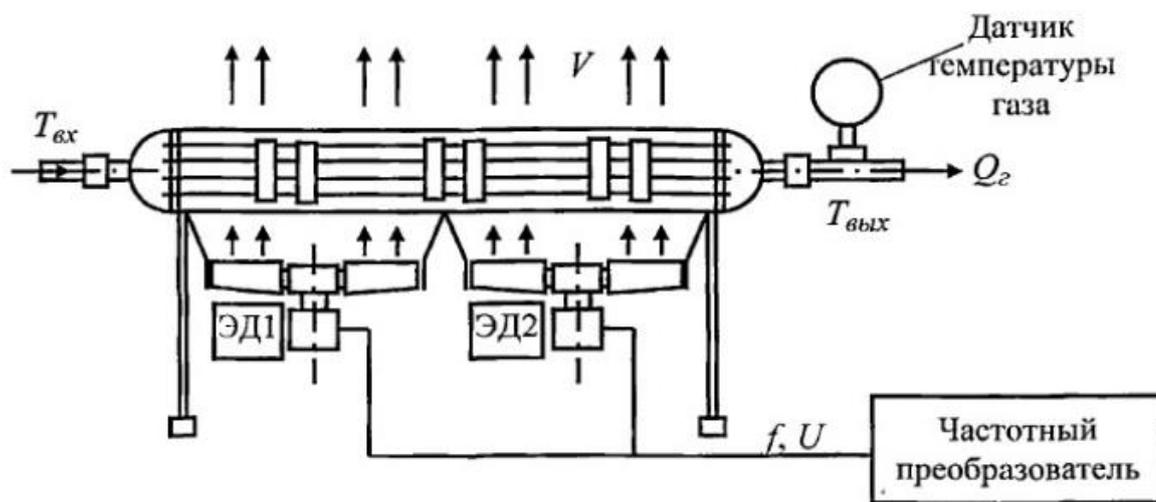


Рисунок 6 – Принцип применения частотного преобразователя на АВО газа

В России производством частотно-регулируемых приводов для электродвигателей АВО газа и системы автоматического управления занимается НПО «Газтехномаш». Низковольтное комплектное устройство АВОГ-ЧРП предназначено для индивидуального регулирования частоты тока и напряжения питания электродвигателей установок воздушного охлаждения газа. НКУ АВОГ-ЧРП могут эксплуатироваться в составе установок воздушного охлаждения газа линейных компрессорных станций магистральных газопроводов, дожимных компрессорных станций, станций охлаждения газа.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4.2 Установка рабочего колеса с лопастями, выполненными из композитных материалов

Согласно паспортных данных в АВО газа 2-АВГ 75 установлены вентиляторы с рабочим колесом типа УК-2М, выполненным из сплава алюминия АМцМ. Сплав АМЦ относится к системе алюминий-марганец, малолегируемый алюминиевый сплав, а дополнительная приставка М означает, что сплав мягкий (отожжённый).

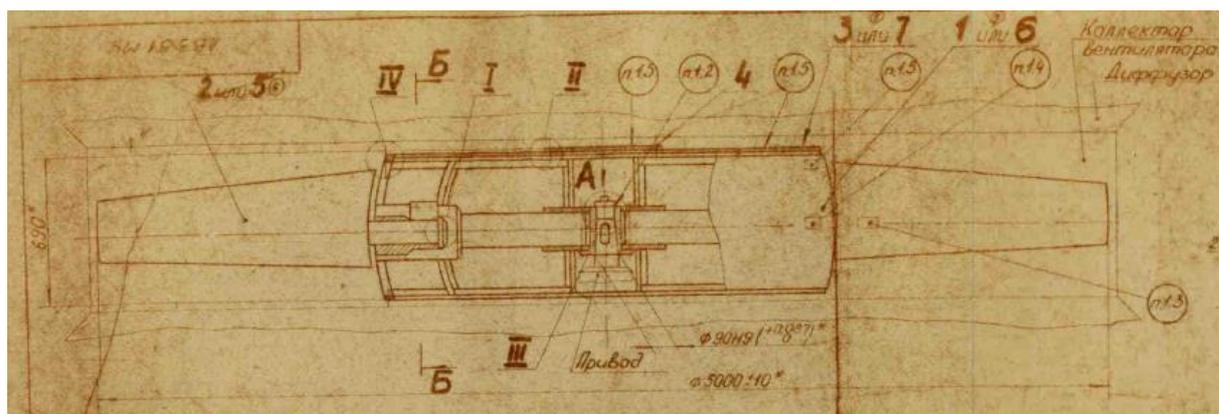


Рисунок 7 – Чертеж вентилятора УК-2М

Таблица 3 – Характеристики рабочего колеса УК-2М

Характеристики	Значение
Диаметр, мм	5000
Количество лопастей	4
Скорость вращения вентилятора, об/мин	250
Количество вентиляторов в одной секции	2
Максимальный угол установки лопастей, °	11
Номинальный расход воздуха, тыс. м ³ /ч	410
Мощность электродвигателя, кВт	37
Масса, кг	930

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

В качестве альтернативы для замены рабочих колес вентиляторов, выполненных из металла, существуют и разрабатываются рабочие колеса, выполненные из композитных материалов.

Вентиляторы, выполненные из композитных материалов, обладают рядом преимуществ, таких как:

1) Облегченная конструкция, позволяющая снизить нагрузку на подшипники электродвигателей, снизить риск изнашивания, шум и вибрацию, а также упростить процесс установки и замены [11];

2) Аэродинамический облик сложной формы, позволяющий эффективно обдувать теплообменные конструкции; за счет снижения потерь при протекании воздуха по более контурам, увеличивается КПД вентилятора;

3) Уменьшение концентраторов напряжения, так как при производстве рабочих колес из композитных материалов используются цельноклеевые лопасти. Это приводит к увеличению ресурса работы оборудования;

4) Отсутствие коррозии лопастей, так как стеклопластик не подвергается коррозии [12].

Альтернативой вентилятору УК-2М для установки на аппарат воздушного охлаждения 2АВГ-75 является рабочее колесо ГАЦ-50-4М2.

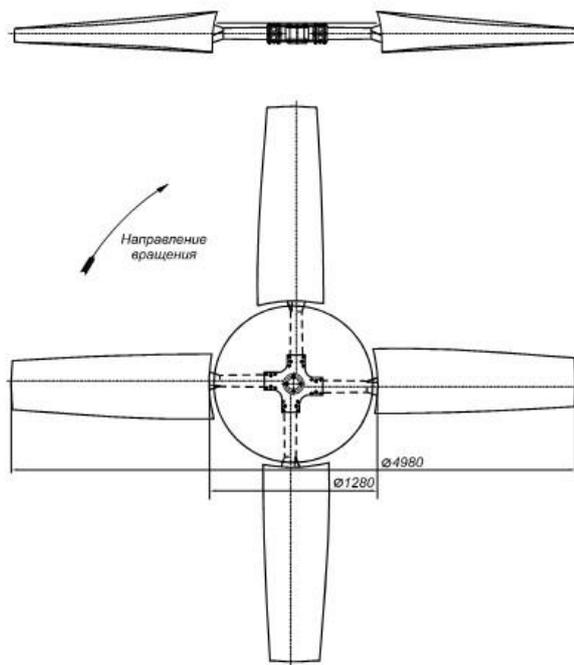


Рисунок 8 – Рабочее колесо ГАЦ-50-4М2

Таблица 4 – Характеристики рабочего колеса ГАЦ-50-4М2

Характеристики	Значение
Диаметр, мм	4980
Количество лопастей	4
Скорость вращения вентилятора, об/мин	250
Количество вентиляторов в одной секции	2
Угол установки лопастей, °	от 9 до 21
Номинальный расход воздуха, тыс. м ³ /ч	525
Мощность электродвигателя, кВт	37
Масса, кг	155

Рабочее колесо включает в себя разборную ступицу и четыре объемных стеклопластиковых лопасти. Лопасти рабочего колеса ГАЦ-42-Х - полые, имеют трехслойную обшивку типа «сэндвич» (стеклопластик-пенопласт-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

стеклопластик), изготавливаются методом формования под давлением с термической полимеризацией. Конструкция лопасти обеспечивает ее высокую прочность и жесткость при малом весе. В комлевой части лопасти выполнен стеклопластиковый хвостовик для крепления лопасти к ступице. Хвостовик плавно сопрягается с внутренней поверхностью несущей лопасти, что обеспечивает равномерное распределение напряжений в конструкции.

Энергопотребление АВО может быть снижено до 50 % посредством использования вентиляторных установок из композитных материалов и снижения массы рабочего колеса вентилятора [13].

4.3 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 [14].

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 [15]. 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 [16].

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 пыли 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» [17] 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 9 и 10 представлена данная система.

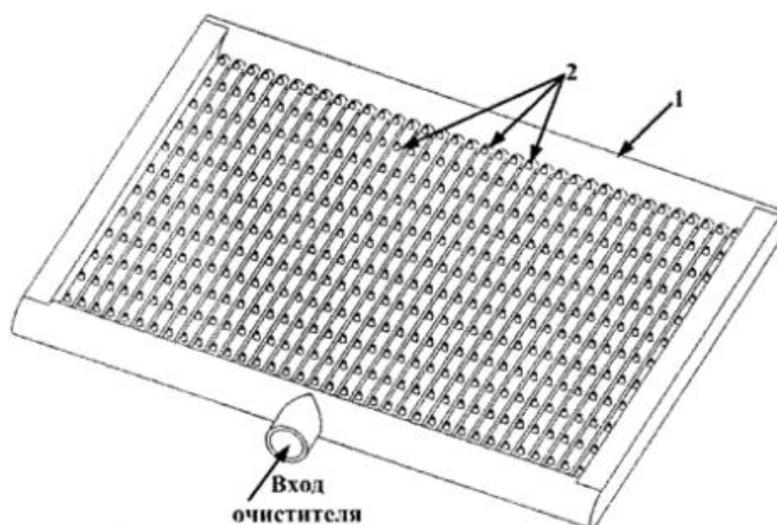


Рисунок 9 – Очистительная секция из труб с форсунками:

1 – очистительная секция; 2 – форсунки.

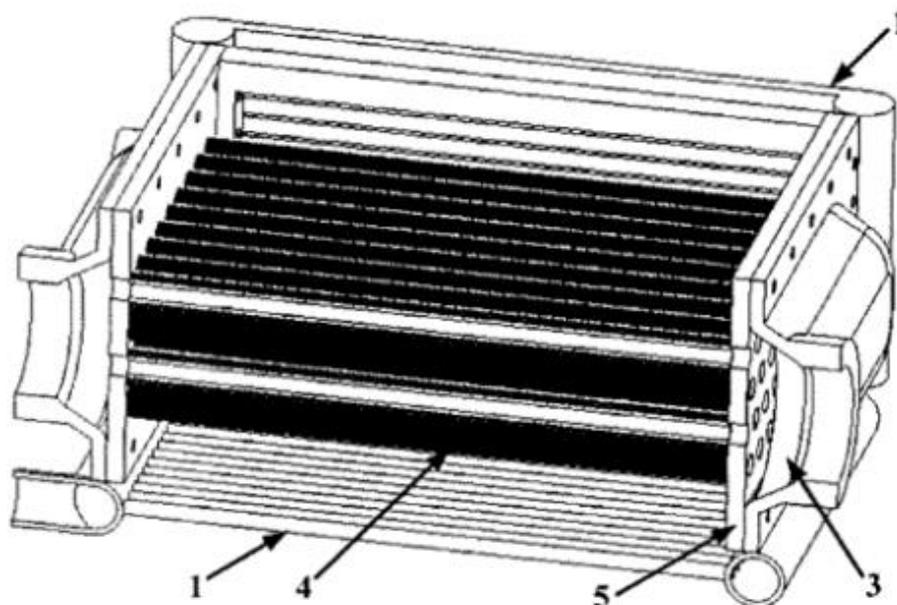


Рисунок 10 – Дополнительная очистительная секция:

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 омывает 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 [18].

Ручная чистка является опасным и трудоемким процессом, который имеет низкую эффективность. Автоматизация этого процесса позволит повысить безопасность и эффективность очистки, снизить ее себестоимость, однако требует капитальных вложений для установки данной системы.

4.4 Совершенствование коллектора АВО газа

Одной из проблем отечественных аппаратов воздушного охлаждения газа является расположение нижнего среза диффузора. Он располагается близко к земле и выбросу теплого воздуха. Вследствие этого при включении соседних вентиляторов наблюдается падение характеристик вентилятора. Возникает рециркуляция, из-за которой температура воздуха на заборе повышается на 2-3 градуса по сравнению с температурой воздуха. Из-за острой кромки диффузора происходит срыв воздушного потока и концевые части лопастей практически не работают. Применение коллекторов плавного входа, которые снижают температуру на заборе воздуха в аппарат воздушного охлаждения. При применении такого вида коллекторов не происходит срыва потока, задействуется вся поверхность лопастей. Установка коллекторов плавного входа приводит к снижению электропотребления на 18-20 % и увеличению расхода воздуха до 9 % [18].

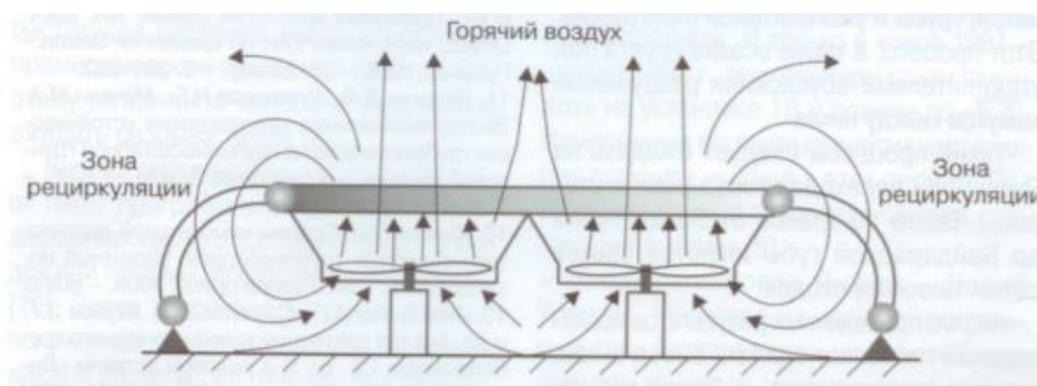


Рисунок 11 – Рециркуляция воздуха в АВО газа [19]

Одним из возможных коллекторов для установки на 2АВГ-75 является коллектор плавного входа ГАЦ-5-КПВ. Коллектор предназначен для

установки в АВО типа 2АВГ-75 и АВЗ и обладает характеристиками, представленными в таблице.

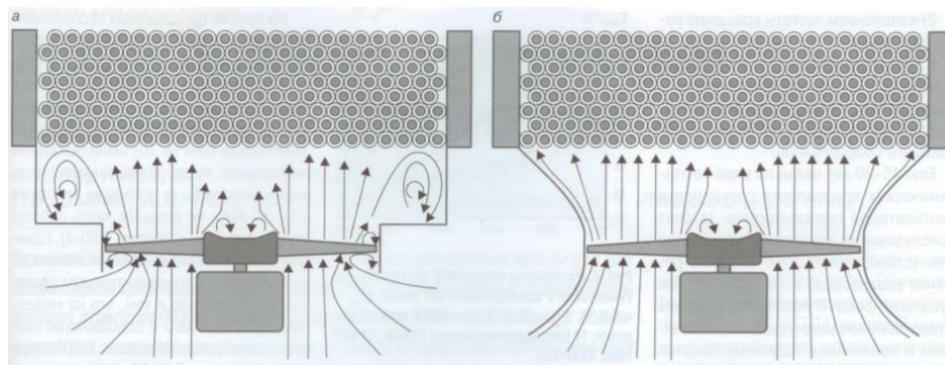


Рисунок 12 – Изменение направления движения воздушных потоков после установки коллектора плавного входа

Диффузоры и коллекторы состоят из цельных в продольном сечении стеклопластиковых панелей. Они изготовлены методом машинного формования путем напыления стекломатериала на полиэфирном связующем с последующей полимеризацией под давлением и имеют объёмные ребра жесткости.

Таблица 5 – Характеристики коллектора плавного входа

Параметр	Значение
Диаметр в сечении рабочего колеса, м	5
Количество секций	8
Масса в сборе, кг	220
Расчетная ветровая нагрузка, Па	1000

Диффузоры имеют нижнее опорное кольцо из швеллера и верхнее силовое кольцо из стеклопластика и оборудованы входным люком.

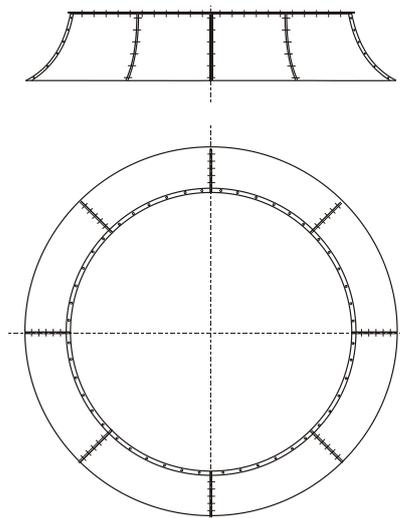


Рисунок 13 – Чертеж коллектора плавного входа ГАЦ-5-КПВ

Плавные обводы диффузоров обеспечивают безотрывное течение воздушного потока. Это позволяет использовать всю ширину горловины диффузора, увеличить расход воздуха на 3-4% или сэкономить 9-12% электроэнергии [20].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

5. Расчет повышения энергоэффективности АВО газа 2АВГ-75

5.1 Внедрение частотно-регулируемого привода АВО газа 2АВГ-75

Применение частотно-регулируемого привода способно значительно снизить энергопотребление всей установки охлаждения газа. Рассчитаем экономию электроэнергии за 2019-2021 года на компрессорном цехе № 4 компрессорной станции [REDACTED]. В таблицах приложения Б указаны некоторые из контролируемых параметров.

Рассчитаем среднегодовое отношение электроэнергии, затрачиваемой на работу электродвигателей аппаратов воздушного охлаждения газа к общей затрачиваемой электроэнергии на собственные нужды компрессорной станции

$$\alpha = \frac{\sum N_{\text{потр АВО}}}{\sum N_{\text{потр общ}}} \cdot 100, \quad (2)$$

где $N_{\text{потр АВО}}$ – электроэнергия потребляемая АВО газа;

$N_{\text{потр общ}}$ – электроэнергия, потребляемая компрессорным цехом на собственные нужды.

Таблица 6 – Относительное количество потребляемой энергии на АВО газа

год	2019	2020	2021	Среднее значение 2019 -2021 г
α , %	65,2	58,8	69,5	64,5

Как видно из таблицы потребление электроэнергии на охлаждение газа за 2019 – 2021 год в среднем составляет 64,5 %, что составляет большую часть по сравнению с другими категориями потребления.

					Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.	Галимов Д.И.				Расчет повышения энергоэффективности АВО газа 2АВГ-75	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Шадрина А.В.						43	107
Рук. ООП	Шадрина А.В.					НИ ТПУ ИШПР ГРУППА 2БМ01		

Потребление электроэнергии на охлаждение можно существенно снизить при установке частотно-регулируемого привода. Как известно из исследования Алимова С.В. [21] скорость воздушного потока и соответственно расход воздуха через аппарат воздушного охлаждения линейно зависит от частоты вращения электродвигателя

$$V \sim Q \sim n, \quad (3)$$

где V – скорость воздушного потока;

Q – расход воздуха через АВО;

n – частота вращения электродвигателя.

Частота вращения электродвигателя и соответственно вентилятора определяется частотой напряжения, подаваемой от частотного преобразователя. Мощность на валу электродвигателя определяется по следующей формуле

$$N = \frac{N_{\text{ном}}}{\eta_{\text{эд}} \cdot \eta_{\text{чп}}} \cdot \left(\frac{p_a}{p_{\text{ст}}} \cdot \frac{T_{\text{ст}}}{T_a} \right) \cdot \left(\frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)^3 = \frac{N_{\text{ном}}}{\eta_{\text{эд}} \cdot \eta_{\text{чп}}} \cdot \left(\frac{p_a}{p_{\text{ст}}} \cdot \frac{T_{\text{ст}}}{T_a} \right) \cdot \left(\frac{V}{V_{\text{ном}}} \right)^3, \quad (4)$$

где $N_{\text{ном}}$ – номинальная мощность электродвигателя согласно паспортной документации, кВт;

$\eta_{\text{эд}}$ – коэффициент полезного действия электродвигателя;

$\eta_{\text{чп}}$ – коэффициент полезного действия частотного преобразователя;

p_a – барометрическое давление, кПа;

$p_{\text{ст}}$ – давление в стандартных условиях, равное 101325 Па;

$T_{\text{ст}}$ – температура в стандартных условиях, равная 293,15 К;

T_a – температура окружающего воздуха, К;

					Расчет повышения энергоэффективности АВО газа 2АВГ-75	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$n_{\text{НОМ}}$ – номинальная частота вращения электродвигателя, об/мин;

$V_{\text{НОМ}}$ – номинальная скорость воздушного потока.

При частотном регулировании вместо включения определенного необходимого количества вентиляторов с номинальной частотой вращения для поддержания требуемой температуры на выходе КС, включаются все вентиляторы, но с пониженной частотой. Однако следует помнить, что при понижении частоты ниже 40 % от номинального, частотное регулирование становится неэффективным в следствие повышенного нагрева обмоток и появления вибрации [10].

Для расчета потребляемой энергии при использовании ЧРП необходимо рассчитать на какую температуру один вентилятор охлаждает газ в зависимости от месяца. При этом нужно предусмотреть ряд условий и допущений:

- 1) Расход газа через каждый АВО газа одинаковый;
- 2) Оба вентилятора одного АВО газа обеспечивают одинаковый отвод тепла;
- 3) Скорость потока воздуха по всему сечению теплообменного аппарата одинакова.

$$\Delta T = \frac{(T_{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВХ}})}{n_{\text{раб}}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{ВХ}}$ – температура газа на входе в АВО, °С;

$T_{\text{ВЫХ}}$ – температура газа на выходе из АВО, °С;

$n_{\text{раб}}$ – количество АВО в работе.

Таблица 7 – Разность температур на АВО газа

Месяц/год	2019	2020	2021
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$		
01	1,26	0	1,55
02	1,32	0	1,13
03	0	0	0,83
04	0	0	0,59
05	2,40	0,86	0,57
06	0,47	0,78	0,67
07	0	0,46	0,60
08	0	0,59	0,67
09	0,89	1,24	1,38
10	2,08	0,85	0
11	1,30	1,12	1,28
12	1,15	1,43	1,23

Согласно [21] максимальная температура охлаждения при всех включенных вентиляторах при дискретном регулировании температуры составляет:

$$T_{max} = 24 \cdot \Delta T. \quad (6)$$

Требуемый относительный перепад температуры может быть вычислен как отношение разности температуры на входе и выходе АВО газа к максимальной температуре охлаждения

$$\Delta t = \frac{(T_{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВХ}})}{T_{max}}. \quad (7)$$

Зависимость затрачиваемой электроэнергии одного АВО газа и относительной требуемой температурой охлаждения определенная в [21] экспериментальным и расчетным путем показана на рисунке.



Рисунок 14 – Зависимость относительного перепада температуры от потребляемой мощности для 2АВГ-75

Данная зависимость описывается кубическим уравнением. Минимальный относительный температурный перепад составляет 0,1 при пассивном охлаждении трубных пучков при выключенных вентиляторах.

Определим необходимую мощность одного АВО газа для необходимого температурного перепада на всей установке охлаждения газа, делая поправку в количестве работающих аппаратов, если относительная частота вращения составит менее 40 %. Результаты указаны в таблице.

Таблица 8 – Рассчитываемые параметры

Месяц/год	2019			2020			2021		
	$N_{1\text{ АВО}},$ кВт	$N,$ кВт	d	$N_{1\text{ АВО}},$ кВт	$N,$ кВт	d	$N_{1\text{ АВО}},$ кВт	$N,$ кВт	d
01	7,31	80,44	22	0	0	0	7,31	80,44	22
02	7,11	71,07	20	0	0	0	15,00	180,00	24
03	0	0,00	0	0	0	0	36,90	442,83	24
04	0	0,00	0	0	0	0	43,00	515,94	24
05	9,60	48,01	10	9,60	48,01	10	18,35	220,22	24
06	9,60	28,80	6	9,60	38,41	8	6,56	52,49	16
07	0	0,00	0	15,00	180,00	24	43,00	515,94	24
08	0	0,00	0	49,74	596,86	24	9,60	115,22	24
09	7,11	71,07	20	5,72	68,61	24	9,60	115,22	24
10	9,60	48,01	10	7,49	89,85	24	0	0	0
11	9,60	115,22	24	9,60	48,01	10	9,60	38,41	8
12	12,09	145,13	24	7,31	80,44	22	9,60	115,22	24
Сумма	-	607,74	-	-	1150,18	-	-	2391,93	-
Сумма в год, тыс кВт·ч		443,65			839,63			1746,11	

Сравним значения потребляемой электроэнергии с применением частотно-регулируемого привода и фактически затраченную энергию за 2019-2021 года.

Таблица 9 – Сравнение фактической потребляемой энергии с энергией потребляемой при использовании ЧП

	2019	2020	2021	Среднее значение
$N_{\text{чп}}$, тыс кВт ч				
$N_{\text{факт}}$, тыс кВт ч				
ΔN				
σN	0,738	0,548	0,475	0,59

Как видно из таблицы применение частотно-регулируемого привода позволяет значительно понизить потребление электроэнергии на АВО газа. Среднее снижение потребления электроэнергии на КЦ 4 составляет 59%.

5.2 Внедрение рабочего колеса, выполненного из композитных материалов и коллектор плавного входа

Установка рабочих колес вентилятора и коллектора плавного входа позволяет увеличить расход воздуха через теплообменные секции аппарата воздушного охлаждения газа. Увеличенный расход воздуха повышает коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубок к воздуху, тем самым увеличивая и эффективность охлаждения.

Уравнение коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности трубок к воздуху имеет вид

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{D_H}, \quad (8)$$

где Nu – число Нуссельта для потока воздуха;

λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт · м/К;

D_H – наружный диаметр трубок, $D_H = 0,057$ м.

Число Нуссельта для потока воздуха через теплообменные секции рассчитывается по следующей формуле (зависимость В. Ф. Юдина [22])

$$Nu = 0,223 \cdot \left(\frac{D_H}{S}\right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h}{S}\right)^{-0,14} \cdot Re^{0,65}, \quad (9)$$

где S – шаг ребра, $S = 0,025$ м;

h - высота ребра трубки, $h = 0,016$ м;

Re – число Рейнольдса для потока воздуха.

Число Рейнольдса рассчитывается по следующей формуле

$$Re = \frac{v \cdot D_H \cdot \rho}{\eta}, \quad (10)$$

где v – скорость потока воздуха, м/с;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

η – динамическая вязкость воздуха, Па · с.

Скорость в узком сечении АВО рассчитаем следующим образом

$$v = \frac{Q \cdot n}{F}, \quad (11)$$

где Q – расход воздуха создаваемый одним вентилятором, м³/с;

n – количество вентиляторов в одном АВО газа, шт;

F – свободная площадь между трубками в теплообменной секции, $F = 11,5$ м².

В зависимости от температуры наружного воздуха изменяются такие параметры как коэффициент теплопроводности воздуха, плотность воздуха и динамическая вязкость воздуха.

Сравним коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубок к воздуху при использовании стандартного рабочего колеса УК-2М и рабочего колеса, выполненного из композитных материалов ГАЦ-50-4М2. Результаты рассчитанных коэффициентов теплоотдачи представлена в приложении В.

Коэффициент теплоотдачи увеличивается за счет повышенного расхода воздуха через теплообменные трубки. Улучшенные показатели теплоотдачи позволяют задействовать в работу меньшее количество вентиляторов, при этом обеспечивая такое же снижение температуры газа. Меньшее количество вентиляторов в работе потребляет меньшее количество электроэнергии. Результаты сравнения потребления электроэнергии до установки рабочих колес ГАЦ-50-М2 и после представлены в таблице.

Таблица 10 – Экономия электроэнергии за счет установки рабочих колес ГАЦ-50-4М2

	2019	2020	2021	Среднее значение
$N_{рк}$, тыс кВт ч				
$N_{факт}$, тыс кВт ч				
ΔN				
σN	0,076	0,0969	0,104	0,0923

Средняя экономия электроэнергии за 3 года составляет 9,23 %, что в 6 раз меньше, чем экономия электроэнергии при использовании преобразователя частоты.

Расчет экономии электроэнергии за счет установки коллектора плавного входа имеет такой же принцип, как и расчет экономии электроэнергии за счет применения рабочих колес из композитных материалов. Известно, что установка коллектора плавного входа повышает расход воздуха в аппарате воздушного охлаждения на 3-4 % [20]. Результаты расчета повышения коэффициента теплопередачи представлены в

приложении Г. Результаты сравнения потребления электроэнергии до установки коллектора плавного входа ГАЦ-5-КПВ и после представлены в таблице.

Таблица 11 – Экономия электроэнергии за счет установки коллектора плавного входа ГАЦ-5-КПВ

	2019	2020	2021	Среднее значение
$N_{рк}$, тыс кВт ч				
$N_{факт}$, тыс кВт ч				
ΔN				
σN	0,015	0,012	0,014	0,01367

Средняя экономия электроэнергии за 3 года составляет 1,367 %. Таким образом установка коллектора плавного входа приводит к наименьшей экономии энергетических ресурсов, в то время как применение преобразователя частоты приводит к экономии более, чем в 40 раз.

Несмотря на рассчитанные показатели экономии электроэнергии необходимо рассчитать насколько внедрение рассматриваемых технологий экономически целесообразно. Для этого проведем соответствующие расчеты финансово-экономических показателей в последующей главе.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Охлаждение газа на компрессорных станциях является необходимым, но энергозатратным мероприятием, потребляющим до 75 % электроэнергии предназначенной на собственные нужды компрессорной станции. Установка охлаждения газа 4 цеха компрессорной станции ██████████ включает в себя 12 аппаратов воздушного охлаждения газа типа 2АВГ-75. В данной работе предлагаются методы совершенствования данного АВО с целью увеличения энергоэффективности компрессорной станции. Предлагаемые технологии включают в себя мероприятия по установке частотно-регулируемых приводов на электродвигатели АВО, установке рабочих колес вентиляторов и коллекторов плавного входа, выполненных из композитных материалов. Данный раздел включает в себя расчет эффекта от реализации названных мероприятий по повышению энергетической эффективности аппаратов воздушного охлаждения газа на 4 цеху компрессорной станции ██████████

Расчет выполненный в магистерской диссертации показал среднее значение экономии электроэнергии в год в зависимости от применяемого способа совершенствования аппарата воздушного охлаждения газа 2АВГ-75.

Таблица 12 – Среднее значение экономии электроэнергии в год

Применяемый способ	Частотно-регулируемый привод	Рабочее колесо выполненное из композитных материалов	Коллектор плавного входа
Экономия электроэнергии, тыс. кВт·ч/год	1282,06	218,13	31,49

					Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.	Галимов Д.И.				Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Шадрина А.В.						53	107
Рук. ООП	Шадрина А.В.					НИ ТПУ ИШПР ГРУППА 2БМ01		

6.1 Эффект от реализации мероприятий по повышению энергетической эффективности АВО 2АВГ-75

Согласно методическим рекомендациям по расчету эффектов от реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности имеется ряд показателей для финансово-экономической оценки эффективности мероприятий по энергосбережению представленных в таблице Д.1 приложения Д [23].

6.1.1 Экономия электроэнергии в денежном выражении

Рассчитаем стоимость сэкономленной электроэнергии для значения экономии денежных средств в год. Значение стоимости электроэнергии возьмем 4,85 руб. за кВт·ч.

Таблица 13 – Сэкономленные денежные средства

Применяемый способ	Частотно-регулируемый привод	Рабочее колесо выполненное из композитных материалов	Коллектор плавного входа
Сэкономленные денежные средства E_i , руб.	6217991	1057930	152710

6.1.2 Капитальные вложения

В состав капитальных вложений входит стоимость необходимого для внедрения оборудования, затраты на доставку и установку. Затраты на доставку возьмем как 10 % от стоимости оборудования. Для расчета затрат на установку оборудования воспользуемся государственными элементными сметными нормами на ремонтно-строительные работы и федеральными единичными расценками [24,25].

Таблица 14 – Сумма капитальных вложений

Показатели	Частотно-регулируемый привод	Рабочее колесо выполненное из композитных материалов	Коллектор плавного входа
Стоимость оборудования, руб.	3840000	2400000	1920000
Доставка, руб.	384000	240000	192000
Монтаж, руб.	34627,44	83820,86	3841,2
Сумма, руб.	4258627,44	2723820,86	2115841,2

6.2 Эксплуатационные затраты

Рассчитаем эксплуатационные затраты. В состав сметных расценок на эксплуатацию машин входят следующие статьи затрат:

$$C_{\text{маш}} = A + P + B + Z + C, \quad (12)$$

где A – амортизационные отчисления на полное восстановление, рублей/машино-час;

P – затраты на выполнение всех видов ремонта, диагностирование и техническое обслуживание, рублей/машино-час;

B – затраты на замену быстроизнашивающихся частей, рублей/машино-час;

Z – оплата труда рабочих, рублей/машино-час;

C – затраты на смазочные материалы, рублей/машино-час.

Нормативный показатель амортизационных отчислений на полное восстановление определяется в зависимости от срока полезного использования. Величина амортизации равна результату деления первоначальной стоимости оборудования на амортизационный период. Срок полезного использования определяется в зависимости от амортизационной группы согласно Постановлению Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 27.12.2019) «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» [26]. Для тех видов основных средств, которые не указаны в амортизационных группах, срок полезного использования

устанавливается налогоплательщиком в соответствии с техническими условиями или рекомендациями изготовителей.

Нормативный показатель затрат на выполнение всех видов ремонта, диагностирование и техническое обслуживание машин определяется по формуле:

$$P = \frac{B_c \cdot H_p}{T \cdot 100} \quad (13)$$

где B_c - восстановительная стоимость машины;

H_p - норма годовых затрат;

T - годовой режим работы машины.

Нормативный показатель затрат на замену быстроизнашивающихся частей определяется по формуле:

$$B = \frac{(C_{бч} + Z_{д.бч} + Z_{п.бч} \cdot (1 + H + П)) \cdot K_{бч}}{T_p}, \quad (14)$$

где $C_{бч}$ - цена быстроизнашивающейся части по рыночной стоимости;

$Z_{д.бч}$ - затраты на доставку с учетом транспортных расходов.

Устанавливается для региона;

$Z_{п.бч}$ - оплата труда ремонтных рабочих;

$K_{бч}$ - количество частей. Устанавливается по инструкции на эксплуатацию машин;

$H + П$ - индивидуальные нормы для накладных расходов и сметной прибыли берется в долях от оплаты труда рабочих и составляет 0,7;

T_p - нормативный ресурс на деталь данного вида.

Для обслуживания и эксплуатации оборудования необходимо 2 машиниста технологических компрессоров. Районный коэффициент - 1,7. Северная надбавка - 1,8. Доплата за вредность - 1,04.

Для смазки подшипников рабочих колес АВО газа необходимо обеспечить средний расход 0,01 кг/час. Средняя стоимость пластичных смазок составляет 80 руб/кг.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Таблица 15 – Эксплуатационные затраты

Показатели	Частотно-регулируемый привод	Рабочее колесо выполненное из композитных материалов	Коллектор плавного входа
Амортизационные отчисления на полное восстановление, рублей/машино-час	25,35	46,32	8,05
Затраты на выполнение всех видов ремонта, диагностирование и техническое обслуживание, рублей/машино-час	76,05	76,05	76,05
Затраты на замену быстроизнашивающихся частей, рублей/машино-час	18,98	31,55	15,66
Оплата труда рабочих, рублей/машино-час;	127,00	127,00	127,00
Затраты на смазочные материалы, рублей/машино-час	19,20	19,20	19,20
Сумма эксплуатационных затрат, рублей/машино-час	266,58	300,12	238,83
Годовой режим эксплуатации, ч.	8400	8400	8760
Сумма эксплуатационных затрат в год, руб.	2239241,81	2521027,70	2092123,81

6.3 Оценка экономического эффекта от совершенствования аппаратов воздушного охлаждения

Рассчитаем основные финансово-экономические показатели инвестиционных проектов согласно методическим рекомендациям по расчету эффектов от реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности [23].

Срок окупаемости определяется по следующей формуле:

$$T_0 = \frac{Inv}{E_i}, \quad (15)$$

где E – экономия в определенный период i времени, достигаемая за счет внедрения инвестиционных проектов.

Некорректно сравнивать проекты лишь на основе первоначальных инвестиций в них, ведь может оказаться, что по сумме расходов до полного износа проект с меньшими капитальными вложениями окажется более дорогим, а значит менее выгодным.

Суммарные дисконтированные затраты рассчитываются по формуле:

$$PCC = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}, \quad (16)$$

где C_i – эксплуатационные затраты в период i ;

n – количество лет в периоде;

r – ставка дисконтирования, согласно рекомендациям Министерства финансов РФ – 15 %.

Чистый дисконтированный доход определяется по следующей формуле:

$$NPV = -Inv + \sum_{i=1}^n \frac{(E_i - C_i)}{(1+r)^i}, \quad (17)$$

Индекс доходности определим следующим образом:

$$ИД = \sum_{i=1}^n \frac{(E_i - C_i)}{(1+r)^i} / Inv, \quad (18)$$

Внутренняя норма доходности описывается следующим неравенством:

$$Inv = \sum_{i=1}^n \frac{(E_i - C_i)}{(1 + ВНД)^i}, \quad (19)$$

Рассчитаем значение финансово-экономических показателей на период 2021-2025 год. В качестве доходов при расчете всех финансово-экономических показателей применяются сэкономленные денежные средства от внедрения проектов, указанные в таблице 1. В таблице 5 показаны

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

рассчитанные финансово-экономические показатели оценки эффективности инвестиций для частотно-регулируемого привода, для рабочего колеса и коллектора плавного входа.

Таблица 16 – Финансово-экономические показатели эффективности

Года	Частотно-регулируемый привод	Рабочее колесо, выполненное из композитных материалов	Коллектор плавного входа
Срок окупаемости, лет			
-	0,685	2,57	13,86
<i>РСС (Суммарные дисконтированные затраты), руб.</i>			
2021	0	0	0
2022	1947166,8	2192198,0	1819238,1
2023	3386377,0	3812518,3	3163892,3
2024	4417013,5	4972849,9	4126816,1
2025	5121175,1	5765623,1	4784714,3
<i>NPV (ЧДД), руб.</i>			
2021	-4258627,4	-2723820,9	-2115841,2
2022	-798845,5	-3996079,3	-3802287,7
2023	1758384,6	-4936444,2	-5048791,6
2024	3589649,1	-5609851,3	-5941428,7
2025	4840823,6	-6069943,2	-6551305,0
<i>ИД, руб.</i>			
2021	0,0	0,0	0,0
2022	0,8	-0,5	-0,8
2023	1,4	-0,8	-1,4
2024	1,8	-1,1	-1,8
2025	2,1	-1,2	-2,1
<i>ВНД, руб.</i>			
2025	86%	-	-

Несмотря на показатели срока окупаемости в 0,685 лет для частотно-регулируемого привода, 2,57 лет для рабочего колеса и коллектора плавного входа 13,86 лет, эти значения не учитывают эксплуатационные затраты, соответственно заведомо слишком оптимистично оценивают проект. Дисконтированный срок окупаемости с учетом эксплуатационных затрат рассчитаем далее для экономически эффективных проектов.

Наибольшие суммарные дисконтированные затраты приходятся на частотно-регулируемый привод, что означает что применение частотно-регулируемого привода обладает наибольшим значением эксплуатационных затрат. Наименьшее значение показателя *PCC* приходится на коллектор плавного входа. Однако суммарные дисконтированные затраты не учитывают экономию проекта в период.

На 2025 год среди трех предлагаемых проектов, только применение частотно-регулируемого привода обладает положительным значением чистого дисконтированного дохода, который составляет 4840823,6 руб. Это означает, что экономия от применения рабочего колеса из композитных материалов и коллектора плавного входа не покрывает первоначальные инвестиции и эксплуатационные затраты и эти проекты являются экономически неудачными, что так же подтверждают значения индекса доходности. Индекс доходности для рабочего колеса составляет -1,2, а коллектор плавного входа -2,1. Эти значения меньше единицы, следовательно, данные проекты можно отвергнуть.

6.4 Оценка экономического эффекта от применения частотно-регулируемого привода

Проекты с применением рабочего колеса из композитного материала и коллектора плавного входа были отвергнуты из-за нерентабельности. Остановимся на проекте с применением частотно-регулируемого привода. Значение индекса доходности для ЧРП на 2025 год составляет 2,1, следовательно, проект рентабельный. ВНД составляет 89 %, что в 6 раз превышает принятую ставку дисконтирования в 15 %. Рассчитаем срок окупаемости с учетом эксплуатационных затрат и дисконтирования. Для этого применим следующую формулу:

$$PP = h + \frac{Inv}{\sum_h NPV_i} = 2,16 \text{ лет или } 2 \text{ года и } 2 \text{ мес.} \quad (20)$$

h – год, в котором накопленный дисконтированный доход превысит объем инвестиций, или год окупаемости.

Проект окупается менее чем за год, что говорит о его высокой экономической эффективности.

Для исследования устойчивости проекта рассмотрим некоторые изменения ситуации на рынке. Увеличим и снизим три показателя, которые влияют на экономическую эффективность проекта:

- 1) цена на электроэнергию;
- 2) капитальные вложения;
- 3) эксплуатационные затраты.

Наибольшее влияние на значение ЧДД и ВНД оказывает цена на электроэнергию, так как из нее складывается экономия финансовых средств в период. Значения ЧДД остаются положительными, а значение ВНД превышает ставку дисконтирования несмотря на отклонения чувствительных показателей, что говорит о стабильности проекта применения частотно-регулируемого привода.

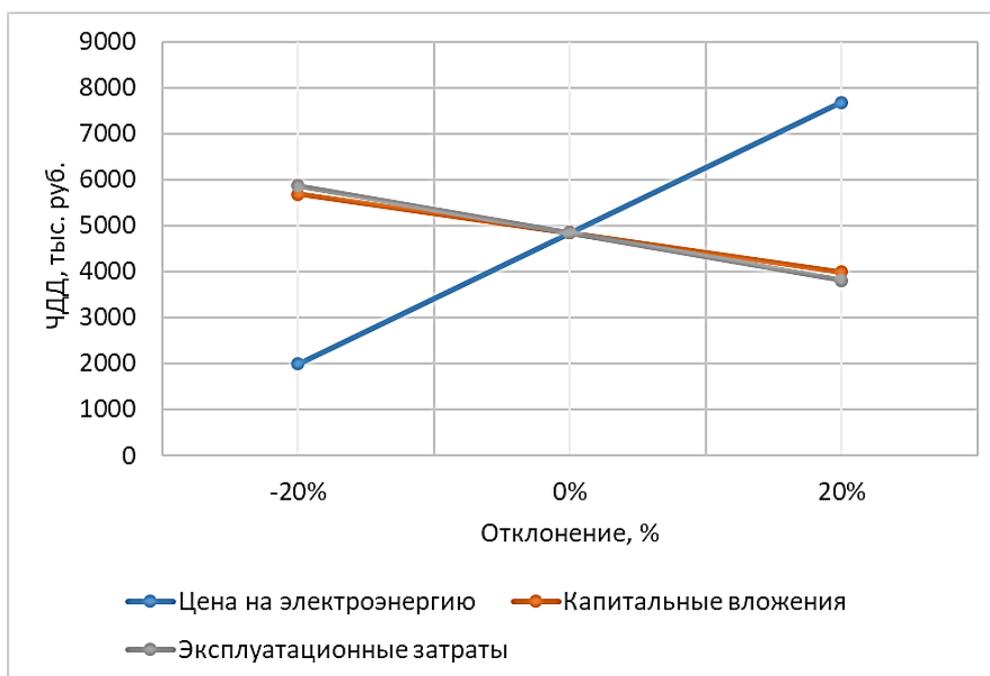


Рисунок 15 – Зависимость ЧДД (NPV) от параметров чувствительности для частотного преобразователя

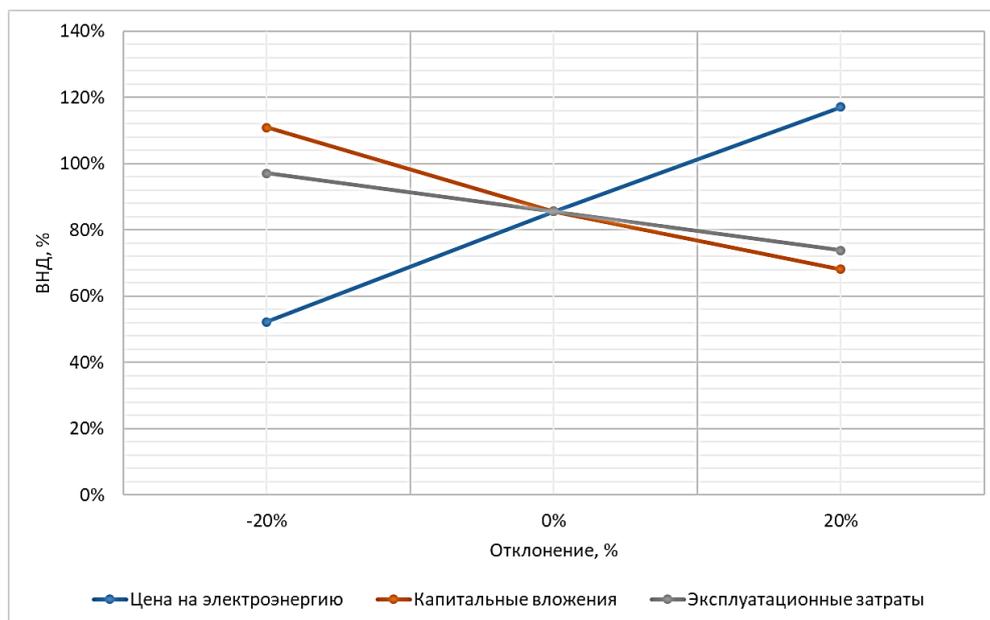


Рисунок 16 – Зависимость ВНД от параметров чувствительности для частотного преобразователя

Заключение

Проведенные расчеты приводят к следующему заключению:

1. Проекты по внедрению колес, выполненных из композитных материалов и коллекторов плавного входа, были отвергнуты в виду их нерентабельности. Индекс доходности на 2025 год составил -1,2 и -2,1, соответственно.

2. Применение частотно-регулируемых приводов является рентабельным. Индекс доходности имеет значение 2,1 на 2025 год.

3. Значение ВНД при применении частотно-регулируемого привода составляет 89 %, что является высоким значением. Проект является надежным для инвестиций.

4. Срок окупаемости при применении частотно-регулируемого привода меньше года – 2,16 лет. ЧДД на 2025 год составляет 4840823,6 руб.

7. Социальная ответственность

Введение

Объектом исследования являются аппараты воздушного охлаждения газа. Аппараты воздушного охлаждения газа являются неотъемлемой частью газовой компрессорной станции. Они применяются для охлаждения природного газа после процесса его компримирования в газоперекачивающих агрегатах. АВО газа потребляют значительное количество электроэнергии потребляемой компрессорной станцией: до 75 % от общего потребления.

В магистерской диссертации рассмотрены и предложены мероприятия по совершенствованию аппаратов воздушного охлаждения газа 2АВГ-75 путем внесения изменений или дополнений в их конструкцию с целью повышения энергоэффективности компрессорной станции.

Область применения магистерской диссертации – магистральный трубопроводный транспорт. Потенциальные пользователи рассмотренных технологий – газотранспортные компании, на компрессорных станциях которых установлены распространенные в Российском газопроводном транспорте аппараты воздушного охлаждения газа типа 2АВГ-75.

Компрессорная станция является опасным производственным объектом II класса опасности – высокой опасности, поэтому необходимо уделять особое внимание вопросам безопасности и защищенности работников от аварий, инцидентов и несчастных случаев.

В настоящей магистерской диссертации рассмотрены способы совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа 2АВГ-75 компрессорной станции [REDACTED]

					Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.	Галимов Д.И.				Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Шадрина А.В.						63	107
Рук. ООП	Шадрина А.В.					НИ ТПУ ИШПР ГРУППА 2БМ01		

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В целях обеспечения соблюдения требований охраны труда, осуществления контроля за их выполнением у каждого работодателя, осуществляющего производственную деятельность, численность работников которого превышает 50 человек, создается служба охраны труда или вводится должность специалиста по охране труда [27].

7.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

Техническое обслуживание и ремонт аппаратов воздушного охлаждения газа относится к газоопасным работам.

К выполнению работ по техническому обслуживанию и ремонту аппаратов воздушного охлаждения газа допускаются лица, не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, прошедшие инструктаж на рабочем месте; производственное обучение безопасным методам и приемам труда по утвержденной программе по профессии, обучение правилам оказания первой медицинской помощи, стажировку, проверку знаний на допуск к самостоятельной работе, имеющие удостоверение [28].

Работодатели обязаны обеспечить обязательное социальное страхование работников от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере. Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		64

Производство работ в местах, где имеется или может возникнуть повышенная производственная опасность, должно осуществляться по наряду-допуску.

Персонал производственных объектов в зависимости от условий работы и принятой технологии производства должен быть обеспечен соответствующими средствами коллективной и индивидуальной защиты.

7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

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

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

- составить схему отключённого участка с указанием положения отсечных и свечных кранов;
- проверить у исполнителей наличие и исправность средств индивидуальной защиты (спецодежда (термостойкие костюмы), спецобувь, выполненных из материалов, исключающих возникновение статического электричества, искрообразование, защитная каска);
- обозначить границы опасной зоны плакатами «Внимание – газоопасные работы», «Проход воспрещён», установить ограждение;
- подготовить и проверить наличие и исправность средств связи во взрывозащищённом исполнении. Обеспечить радиотелефонную связь со сменным инженером КС;
- удалить вредные и взрывоопасные продукты из рабочей зоны;
- проверить исправность манометров, установленных на ремонтной секции АВО газа;

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

- подготовить свободные подходы и подъезды к месту работы;
- закрыть входные и выходные краны на секциях АВО газа в зоне газоопасных работ. Вывесить плакаты «Не открывать» (номера кранов указать в наряде-допуске в соответствии с номером ремонтной секции);
 - открыть свечные краны. Газ стравить до атмосферного. Вывесить плакаты: «Не закрывать» (номера кранов указать в наряде-допуске в соответствии с номером ремонтной секции);
 - снять штурвалы (рукоятки) с приводов входных, выходных, свечных кранов ремонтных секций АВО газа и убрать их в специально отведённое место. В случае отсутствия возможности снять штурвалы и рукоятки из-за конструктивных особенностей – зафиксировать и установить блок замки исключающие возможность ошибочной перестановки;
 - проверить близлежащее газовое оборудование на отсутствие утечек газа;
 - отключить соседние вентиляторы;
 - выполнить все необходимые организационно-технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работников от поражения электрическим током. Отключить автомат двигателя в КТП АВО газа, вывесить плакат «не включать – работают люди». Вывесить плакат «не включать – работают люди» на кнопку управления;
 - подготовить первичные средства пожаротушения (огнетушитель ОП-10 – 1шт., асбоболотно 1,5х2м);
 - произвести анализ воздушной среды в рабочей зоне на наличие газа переносным газоанализатором с записью результатов в наряде-допуске;
 - доложить в группу по ОТ о готовности объекта и исполнителей к проведению газоопасных работ.

7.2 Производственная безопасность

Работы по техническому обслуживанию и ремонту аппаратов воздушного охлаждения являются работами повышенной опасности, так как при возможно возникновение вредных и опасных факторов, указанных в таблице 1.

Таблица 17 – Возможные опасные и вредные производственные факторы при проведении работ на аппаратах воздушного охлаждения газа компрессорной станции

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [29] ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ [30]
2. Опасность взрыва и пожара в местах образования взрывоопасных и пожароопасных смесей	ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ [31] Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [32]
3. Движущиеся твердые объекты, наносящие удар по телу работающего	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ [33] ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ [34]
4. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ [35] ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [36]
5. Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ [37] ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [38] СП 51.13330.2011 [39]

7.2.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания

На компрессорной станции есть вероятность утечки природного газа в рабочую зону и возникновение загазованности. Природный газ оказывает удушающее воздействие на организм человека, приводит к потере сознания.

Основным компонентом природного газа является метан. По санитарным нормам метан относится к 4 классу опасности (малоопасные вредные вещества), предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны – 300 мг/м³.

Газоопасные работы следует выполнять бригадой исполнителей в составе не менее двух человек, включая лицо, ответственное за их проведение. Члены бригады должны быть обеспечены соответствующими средствами индивидуальной защиты органов дыхания и кожных покровов, спецодеждой, спецобувью, инструментом, приспособлениями и вспомогательными материалами.

7.2.2 Опасность взрыва и пожара в местах образования взрывоопасных и пожароопасных смесей

В трубных пучках и технологической обвязке аппарата воздушного охлаждения природный газ находится под давлением до 7,5 МПа. Утечка или разгерметизация полости газопровода может привести к взрыву с последующим возгоранием. Нижний концентрационный предел взрываемости метана составляет 4,4 %, верхний концентрационный предел взрываемости составляет 17 %.

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

Для обеспечения безопасности производится анализ воздушной среды в рабочей зоне переносным газоанализатором постоянно в течение работ, после каждого перерыва в работе с записью максимального значения за период 30 минут в наряд-допуске. Работы проводятся при отсутствии в воздухе рабочей зоны или наличии не выше ПДК природного газа (СН₄) -0,8% по объему, кислорода О₂ не менее 20 % и не более 23% по объему.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

Для предотвращения вероятного возгорания работники обеспечиваются средствами индивидуальной защиты, обеспечивающими взрывобезопасность, такими как:

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

При работе используется обмедненный инструмент исключая искрообразование.

При возникновении пожара на месте работы предусмотрены первичные средства пожаротушения (огнетушитель ОП-10 – 1шт., асболоотно 1,5х2м).

Электродвигатель вентилятора выполняется во взрывозащищенном исполнении.

7.2.3 Движущиеся твердые объекты, наносящие удар по телу работающего

Рабочие колеса вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения газа 2АВГ-75 вращаются со скоростью 250 об/мин. Для предотвращения опасного воздействия вращения вентилятора на человека проводится ряд мероприятий:

- Отключение цепей электроснабжения электродвигателя;
- Отключение коммутационных устройств и создание видимых разрывов на электрических цепях выведенного в ремонт АВО газа, на приводах коммутационных устройств вывесить предупреждающие плакаты;
- Отключение питающего кабеля от электродвигателя с видимым разрывом;
- После отключения электрических цепей провести блокировку свободного вращения колеса;
- Остановить соседние вентиляторы.

Не допускается останавливать вращающееся по инерции колесо вентилятора руками.

7.2.4 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током

Вентилятор аппарата воздушного охлаждения в качестве привода имеет электродвигатель ВАСО16 с номинальным напряжением $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$, номинальной силой тока $I_{\text{ном}} = 99,5 \text{ А}$, номинальной мощностью $N_{\text{ном}} = 37 \text{ кВт}$. При выполнении работ есть вероятность поражения электрическим током.

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

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

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

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

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

7.2.5 Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума

Повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. При этом специфическим клиническим проявлением вредного действия шума является стойкое нарушение слуха (тугоухость), рассматриваемое как профессиональное заболевание.

Основным источником шума АВО газа являются вентиляторы. Наиболее интенсивное излучение звука, создаваемое работой вентиляторов АВО газа, наблюдается в диапазоне от 250 до 1000 Гц и характеризуется уровнями звуковой мощности от 101 до 105 дБ [40]. Согласно [39] предельно допустимым октавным уровнем звукового давления на рабочих местах в производственных и вспомогательных зданиях, на площадках промышленных предприятий для основных видов трудовой деятельности в данном случае составляет 77 дБ.

Суммарную длительность пребывания обслуживающего персонала и средства индивидуальной защиты, работающих в зоне повышенного (свыше 80 дБА) шума, определяет предприятие, эксплуатирующее аппарат, в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.003 [38].

В качестве мероприятий по защите органов слуха от неблагоприятного воздействия шума используются средства индивидуальной защиты: наушники, противозумные вкладыши, а также противозумные шлемы.

7.2.6 Расчет искусственного освещения

Управление работой вентиляторов и контроль параметров осуществляется из операторной комнаты машиниста технологических компрессоров. В операторной комнате применяется искусственное освещение как в зоне с недостаточным естественным освещением.

Рабочее освещение нормируется СП 52.13330.2016 в зависимости от разряда зрительной работы, контраста объекта с фоном и характеристикой

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		71

фона. Рабочее освещение создаёт равномерную освещённость, исключает возможность образования резких теней, блескости, обеспечивает правильную цветопередачу, является надёжным и удобным в эксплуатации [41].

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения. Высота рабочей поверхности составляет $h_{рп} = 0,8$ м; требуемая норма освещенности $E = 300$ лк. Коэффициент отражения стен $R_c = 50$ %, коэффициент отражения потолка $R_{п} = 50$ %. Коэффициент запаса $k = 1,5$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$. Размер операторной имеет параметры: длина $A = 5$ м, ширина $B = 5$ м.

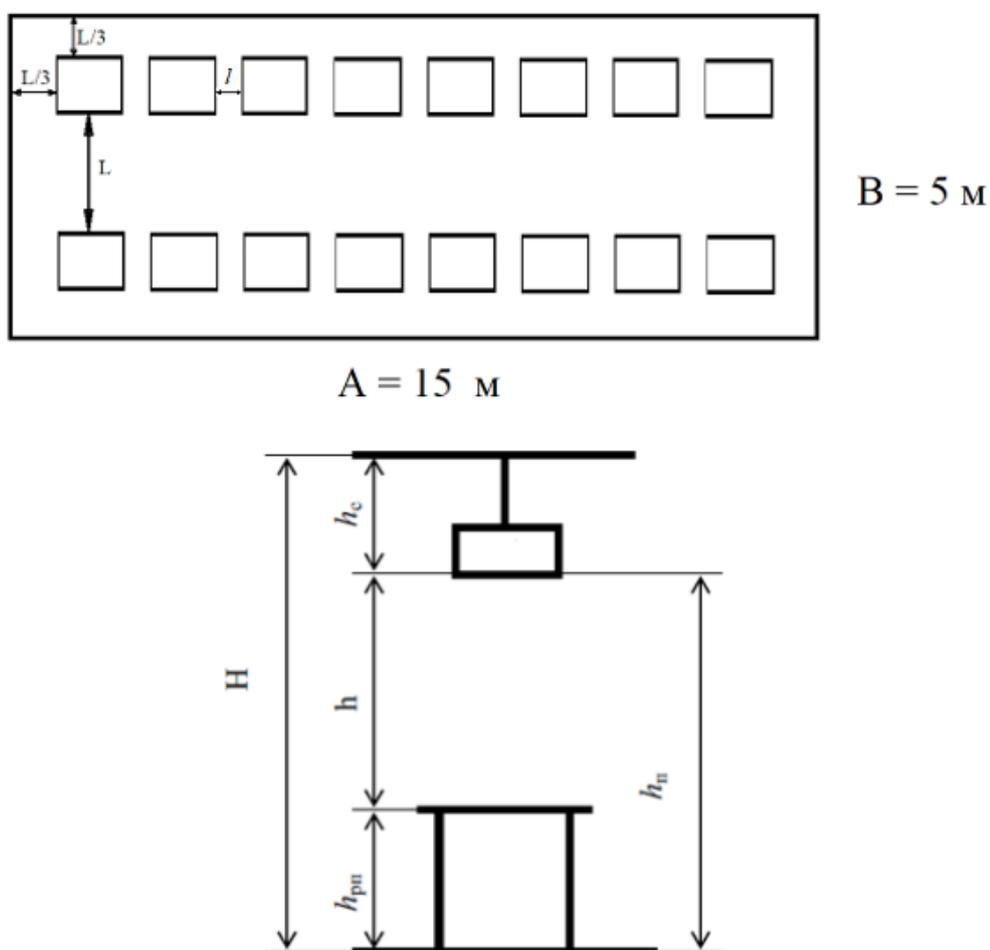


Рисунок 17 – Схема освещения рабочей зоны

Выберем люминесцентные светильники типа ШОД: интегральный критерий оптимальности расположения светильников $\lambda = 1,3$.

Приняв расстояние светильников от перекрытия $h_c = 0,2$ м, получаем:

$$h = H - h_{\text{рп}} - h_c = 3,0 - 0,2 - 0,8 = 2,0 \text{ м}; \quad (21)$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 2,0 = 2,6 \text{ м}; \quad (22)$$

$$l = L/3 = 0,87 \text{ м}, \quad (23)$$

где h – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью;

H – высота помещения;

$h_{\text{рп}}$ - высота рабочей поверхности над полом;

L – расстояние между соседними светильниками или рядами;

l - расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Находим индекс помещения

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{5 \cdot 15}{2 \cdot (5 + 15)} = 1,875. \quad (24)$$

Коэффициент использования светового потока составляет

$$\eta = 45 \% \text{ или } 0,45.$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 8 светильников типа ШОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м и шириной 0,29 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рис. 1). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 32$.

Проверяем соответствие размеров

$$A = 7 \cdot 0,5 + 8 \cdot 1,23 + 2 \cdot 0,87 = 15,08 \approx 15 \text{ м},$$

$$B = 2,6 + 0,29 \cdot 2 + 0,87 \cdot 2 = 4,92 \approx 5 \text{ м}.$$

Коэффициент использования светового потока составляет

$$\eta = 45 \% \text{ или } 0,45$$

Определяем световой поток лампы:

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

$$\Phi = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot k \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 5 \cdot 15 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{32 \cdot 0,45} = 2578,1 \text{ Лм.} \quad (25)$$

Выбираем ближайшую подходящую стандартную лампу ЛХБ 40 Вт с потоком $\Phi_{\text{л.станд}} = 2700$ Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10 \% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100 \% \leq +20 \% \quad (26)$$

Получаем

$$10 \% \leq \frac{2700 - 2578,1}{2700} \cdot 100 \% \leq +20 \%,$$

$$10 \% \leq 4,5 \% \leq +20 \%.$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 32 \cdot 40 = 1280 \text{ Вт.}$$

Отклонение расчетного светового потока от стандартного светового потока составляет 4,5 %, что менее 20 %, следовательно, рассчитанное расположение и количество светильников и ламп соответствуют требованиям. Электрическая мощность осветительной установки составляет 1280 Вт.

7.3 Экологическая безопасность

При выполнении всех видов работ на компрессорной станции необходимо соблюдать требования защиты окружающей среды, которые установлены законодательством Российской Федерации.

7.3.1 Воздействие на атмосферу

На компрессорной станции сжимается природный газ на 98 % состоящий из метана. Вследствие утечек или технологических сбросов метан попадает в атмосферу.

Метан является основным виновником «парникового эффекта», поскольку его присутствие способствует удержанию тепла в атмосфере и оказывает влияние на климат Земли. Метан стоит на втором месте после

двуокиси углерода в ряду парниковых газов, выделяемых в результате деятельности человека. Метан в 23 раза эффективнее удерживает тепло в атмосфере Земли, чем углекислый газ.

Согласно постановления правительства о ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах на 2018 год плата за выброс тонны метана составляет 108 рублей [42].

Многие из имеющихся в настоящее время возможностей снижения выбросов метана включают его регенерацию и использование в качестве топлива для производства электроэнергии, применение на местах и его поставки на продажу.

7.3.2 Воздействие на литосферу и гидросферу

На компрессорной станции периодически проводятся земляные работы с целью визуального осмотра технологического газопровода, проведения ремонтных работ и работ по установке нового оборудования. При проведении земляных работ может нарушаться растительный слой за счет движения техники и непосредственного среза почвы.

Временные автомобильные дороги и проезды должны устраиваться с учётом требований по предотвращению повреждения плодородного слоя и древесно-кустарниковой растительности. Потери растительного слоя при прокладке временных дорог должны быть минимальными, не рекомендуется вырубать низкие кустарники вдоль полосы отвода. Они сохраняют устойчивость почвы и служат в качестве осадочного фильтра вдоль водоёмов.

Для снижения воздействия на окружающую среду и затрат на их возмещение при проведении работ на компрессорной станции необходимо выполнение следующих мероприятий:

1. Использование емкостей для сбора отработанных ГСМ, хозяйственных и производственных отходов;

2. Оборудование передвижных емкостей приспособлениями, исключающими разлив ГСМ при их транспортировке и заправке техники;
3. Строгое соблюдение правил работы в водоохраной зоне;
4. Озеленение водоохраных зон;
5. Ликвидация отходов производства и хозяйственных отходов на местах работы ремонтной бригады;
6. Соблюдение правил пожарной безопасности в бесснежный период времени;
7. Рекультивация земель по окончании работ.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Компрессорная станция располагается вне территории населенных пунктов с учетом зоны минимальных расстояний.

В рабочей зоне работников могут возникнуть чрезвычайные ситуации как природного, так и техногенного характера.

Чрезвычайными ситуациями природного характера могут являться лесные пожары и наводнения.

Одним из наиболее вероятных и разрушительных видов чрезвычайных ситуаций является пожар или взрыв на рабочем месте. Содержание в воздухе метана более чем 4,4 % в смеси с воздухом может привести к взрыву.

Для обеспечения безопасности воздух в месте проведения работ проверяется на содержание метана при помощи газоанализатора. Для обеспечения безопасности воздух в месте проведения работ проверяется на содержание метана при помощи газоанализатора. Содержание метана в воздухе рабочей зоны не должно превышать 1 %. Замеры производятся постоянно в разных точках с записью максимального значения загазованности не реже 1 раза в 30 минут.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		76

При наличии признаков аварийной ситуации, работы необходимо приостановить, людей вывести из опасной зоны.

Персонал в аварийных ситуациях обязан:

- действовать в соответствии с «Планом мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО»
- отключить оборудование станции;
- оказать первую медицинскую помощь пострадавшему;
- вызвать скорую медицинскую помощь по тел. 003.

В целях предупреждения аварийных ситуаций (загорания, взрыва и т.п.) необходимо:

- не допускать условий образования взрывопожароопасных концентраций газовой смеси;
- не допускать возможности появления искры или огня (удар, неисправность электрооборудования, открытый огонь);
- принимать немедленно меры по устранению причин загазованности;
- не работать при грозе, дожде, тумане и снегопаде, затрудняющих видимость, а также при температуре окружающей среды ниже минимальной рабочей температуры применяемых средств измерения, дефектоскопических материалов и приспособлений;
- не работать при недостаточном освещении;
- не работать без выставления поста для наблюдения и контроля рабочего места и без приостановки других работ в опасной зоне в случаях проведения работ в условиях одновременного выполнения данного вида работ с другими.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

Вывод к разделу

Социальная ответственность является важным разделом магистерской диссертации, отражающей вопросы промышленной безопасности, охраны труда и экологии.

Анализ проведенный в разделе социальная ответственность показал, что работы по внедрению новых технологий на аппаратах воздушного охлаждения компрессорных станций является типом деятельности, при котором возникает множество опасных и вредных факторов. Компрессорная станция является опасным производственным объектом, способным нанести ущерб как человеку, так и природе, вследствие чего работник предприятия обязан использовать средства индивидуальной и коллективной защиты и быть социально застрахованным, соблюдать установленные меры безопасности, проходить обучение безопасным приемам и методам труда. После проведения работ проводятся меры по минимизации ущерба окружающей среде. При возникновении чрезвычайных ситуаций необходимо следовать плану ликвидации аварий, который разрабатывается на предприятии.

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

Заключение

Совершенствование аппаратов воздушного охлаждения газа может привести к значительной экономии электроэнергии на компрессорной станции, тем самым обеспечив повышение ее энергоэффективности.

В магистерской диссертации было рассмотрено четыре метода совершенствования АВО газа 2АВГ-75 на 4 цеху компрессорной станции [REDACTED]. Все эти методы в разной степени влияют на энергетическую эффективность. Так, по результатам расчетов, применение частотного регулирования позволяет в среднем экономить 59 % электроэнергии в год, по сравнению с классическим дискретным регулированием. Применение облегченных рабочих колес из композитных материалов позволяет в среднем экономить 9,2 % электроэнергии по сравнению со стандартным алюминиевым рабочим колесом. Коллектор плавного входа позволяет сэкономить 1,37 % электроэнергии. Автоматическая система очистки оребренных трубных пучков позволяет более эффективно и безопасно вернуть эффективность охлаждения к нормативным показателям по сравнению с ручной очисткой.

Несмотря на то, что все эти методы повышают энергоэффективность аппаратов воздушного охлаждения газа, только применение частотно-регулируемого привода является экономически целесообразным и рекомендуется к внедрению на 4 цеху компрессорной станции [REDACTED]. Срок окупаемости инвестиционного проекта составляет 2 года и 2 месяца.

					Повышение энергоэффективности компрессорной станции путем совершенствования аппаратов воздушного охлаждения газа			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.	Галимов Д.И.				Заключение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Шадрина А.В.						79	107
Рук. ООП	Шадрина А.В.					НИ ТПУ ИШПР ГРУППА 2БМ01		

8) Загорученко В.А., Бикчентай Р.Н., Вассерман А.А. и др. Тепло-технические расчеты процессов транспорта и регазификации природных газов. Справочное пособие. М., Недра, 1980.

9) Фомин А.В. Регулирование и оптимизация режимов работы систем охлаждения технологического газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов: дисс. ... канд. техн. наук. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. 152 с.

10) Калинин А.Ф., Меркурьева Ю.С., Фомин А.В. Оценка эффективности использования частотно-регулируемого электропривода аппаратов воздушного охлаждения газа на линейных компрессорных станциях магистральных газопроводов. Территория «НЕФТЕГАЗ». 2019;(11):68-75.

11) Альмухаметов, Д. Ш. Методы оптимизации системы охлаждения газа на компрессорных станциях / Д. Ш. Альмухаметов // Вестник современных исследований. – 2018. – № 9.3(24). – С. 185-189.

12) Маланичев В.А., Миатов О.Л., Типайлов А.М. Разработка и модернизация вентиляторных блоков аппаратов воздушного охлаждения // Химическая техника. 2004. - № 2. С. 11 - 16.

13) Мутугуллина, И. А. Повышение энергетической эффективности аппаратов воздушного охлаждения / И. А. Мутугуллина, К. Ю. Маякин // Символ науки: международный научный журнал. – 2021. – № 12-1. – С. 13-15. – EDN KRXEQY.

14) СТО Газпром 2-3.5-454-2010 Правила эксплуатации магистральных газопроводов: дата введения 2010-24-05.

15) Омелянюк, М. В. Повышение экономичности и безопасности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения / М. В. Омелянюк, А. Н. Черномашенко // Нефтепромысловое дело. – 2009. – № 4. – С. 43-46. – EDN KBDEER.

16) Акулов К.А., Голик В.В., Пономарёва Т.Г. ОЧИСТКА АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА // Фундаментальные

исследования. – 2015. – № 12-3. – С. 453-456; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39478> (дата обращения: 28.04.2022).

17) 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.

18) Зусько, П. П. Повышение эффективности работы аппаратов воздушного охлаждения газа / П. П. Зусько // Нефтегазовый терминал : сборник научных статей памяти профессора Н. А. Малюшина. – Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2015. – С. 92-95.

19) Алимов С.В. Модернизация вентиляторов АВО газа при реконструкции КС МГ / С.В. Алимов, А.О. Прокопец, С.В. Кубаров и др.// Газовая промышленность. – 2009.– № 4. – С. 54–56.

20) ТУ 28.25.20-001-18193100-2017 Рабочие колеса АВО, градирен, диффузоры.

21) Алимов С.В. Повышение энергоэффективности стационарных режимов работы установок охлаждения газа с частотно-регулируемым электроприводом : дис. ... канд. тех. наук / Алимов Сергей Викторович ; Самарский государственный технический университет. – Самара, 2011.

22) Юдин В.Ф. Разработка методик теплового и аэродинамического расчета пучков оребренных труб энергетических установок: Дис. . докт. тех.наук. Л., 1983. - 472 с.

23) Методические рекомендации по расчету эффектов от реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности. – Москва, 2016 г.

24) Государственные элементные сметные нормы на монтажные работы ГЭСНм-2001, Сборник № 8 - Электротехнические установки.

25) Федеральные единичные расценки ФЕР-20, Вентиляция и кондиционирование воздуха.

					Список использованных источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

26) Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 №1 (ред. от 27.12.2019) «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы».

27) Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022).

28) ПРИКАЗ от 15 декабря 2020 года N 528 Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасного ведения газоопасных, огневых и ремонтных работ".

29) ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

30) ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

31) ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

32) Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

33) ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

34) ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.

35) ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

36) ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

37) ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

38) ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

39) СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.

					Список использованных источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

40) СТО Газпром 2-3.5-043-2005. Защита от шума технологического оборудования ОАО «Газпром».

41) СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.

42) Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах (с изменениями на 24 января 2020 года).

43) Messersmith D. Understanding natural gas compressor stations/ D. Messersmith. – Text: electronic // Marcellus education fact sheet. – 2015. – URL: <https://extension.psu.edu/understanding-natural-gas-compressor-stations> (дата обращения 27.04.2022).

44) Serth R.W. Process Heat Transfer/ R.W. Serth. – Text: electronic // Academic Press. – 2007. – URL: <https://doi.org/10.2w1016/B978-012373588-1/50015-2> (дата обращения 07.05.2022).

45) Boes S. Improve Air-Cooled Heat Exchanger Performance/ S. Boes. Text: electronic // CEP. – 2017. URL: <https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2017/january/improve-air-cooled-heat-exchanger-performance> (дата обращения 04.05.2022).

46) Giammurati R. Performance Improvement to Existing Air-Cooled Heat Exchangers/ R. Giammurati. – Text: electronic // Coolibg technology Institute Annual Conference. – 2004. URL: <https://files.chartindustries.com/hudson/Performance-Improvement-Air-Cooled-Heat-Exchangers.pdf> (дата обращения 05.05.2022).

Приложение А

Literature Review

Increasing the energy efficiency of compressor stations by improving the air-cooled heat exchangers

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ01	Галимов Данил Ильдарович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИ О	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шадрина Анастасия Викторовна	д.т.н., доцент		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИ О	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Айкина Татьяна Юрьевна	к.филолог.н., доцент		

1. Natural Gas Compressor Stations

Compressor stations are an essential part of the gas pipeline network that moves natural gas from well sites to end customers. Movement of natural gas in the pipeline causes pressure and speed drop because of the friction and elevation differences. Compressor stations are placed every 100-150 km in order to maintain the required pressure and flow of the whole transportation system.

Natural gas comes to a compressor station and first of all goes through scrubbers and filters where liquids and particulate matter are removed from it. Then natural gas goes to individual compressors. The number and the flow of compressor units is regulated by computer. Compressor units can be operated in parallel or in stages (serially) when required boost in pressure is high. Temperature of gas is increasing after the process of compression. For every 100 psi increase in pressure, the temperature of the gas stream increases by 7–8 degrees. So the aerial cooler systems are used to dissipate excess heat. They are commonly known as Air-cooled heat exchangers (ACHEs). In wet gas areas the liquid can drop out after these processes. This liquid is gathered in tanks.

Compressor stations are usually gas-powered and may be driven by conventional piston engines or gas turbines. Electrically powered units are used as well. This engines and compressor units are often housed in a building. Insulated walls and shielded systems are used to decrease the noise from the machines.

There is also a set of equipment that no compression station can run without. It includes gas monitoring systems, gas filtration systems, backup power generators, gas measuring equipment. Odorization equipment is used to provide an odor of mercaptan to the natural gas in order to distinguish it.

The main parts of a compression station can be seen in figure 1.

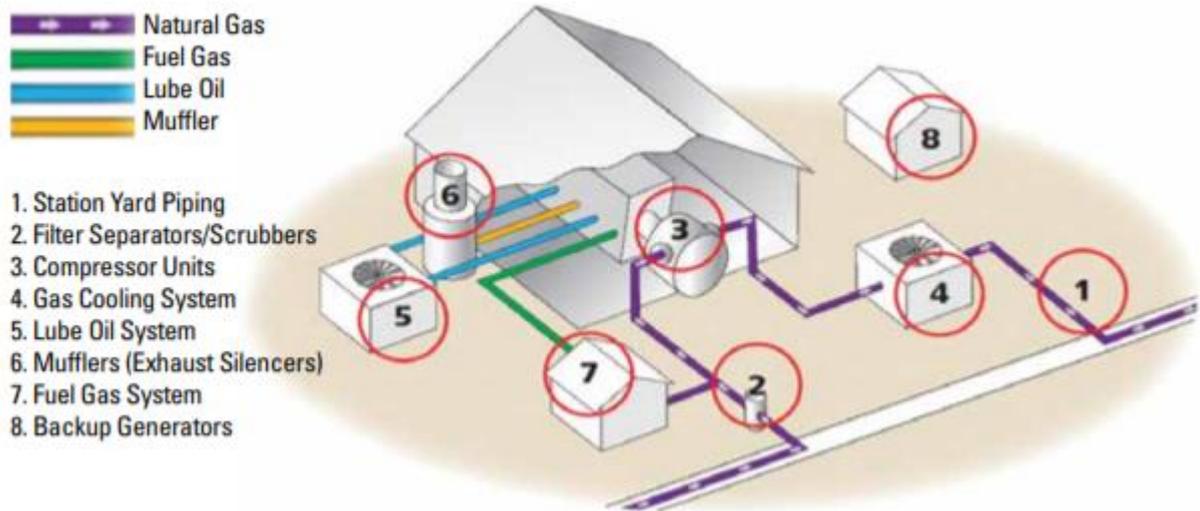


Figure 1 – Compression station yard

Regarding the safety precautions, compressor stations incorporate a variety of safety systems. Every station has an emergency shutdown system. These emergency systems stop the operation of compressor units and vent the buildings if gas leakage or pressure drop is detected. An odorant can be added to the natural gas at a compressor station to provide a scent.

Natural gas compressor stations usually use combustion engines as a power resource. Emissions are released into the atmosphere. These engines also generate lots of noise. The accepted noise level should be no more than 55 decibels.

The study shows that a compressor station and its components are necessary to the process of natural gas transportation. All of the components play a significant role in pipeline transportation [43].

2. Air-cooled heat exchangers

Let us consider air-cooled heat exchangers (ACHEs). They are used in a variety of applications in refineries, petrochemical plants, gas treating plants, compressor stations, power plants, and other facilities. ACHEs are used for process cooling and/or condensing.

Air cooling is more efficient than other types of cooling systems especially in arid areas where there is a lack of water resources or additional investments are needed to extend the supply of water. Air cooling is also more environmentally friendly. The capital cost of ACHE is higher than water-cooled exchanger, the operating cost of ACHE is much lower. There are also no corrosion problems that can be caused by constant contact between metal pipes and water. Water cooling systems have a possibility of mixing with the process fluid due to the depressurization of natural gas tube [44].

Thousands of air cooled heat exchangers are used every day. ACHEs are an integral part of a compressor station. Electricity outage can lead to the temporary shutdown of a station, which will cause large loss of revenue.

The principle of ACHEs operating is quite simple. Hot fluid goes through the metal tubes of a heat exchanger. The air that is moved by axial fans flows between the metal tubes with external finning (Figure 2). The heat from the process fluid is transferred to the cool air. The fluid is cooled and hot air goes into the atmosphere. Even though this concept seems simple, maintaining the system and optimizing its work can be difficult.

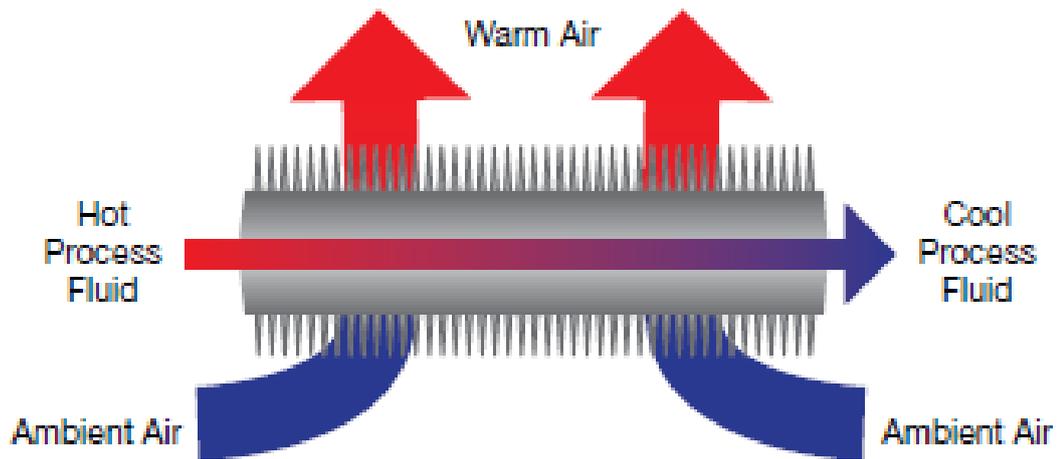


Figure 2 – Heat exchange between air and fluid

There are two types of air cooled heat exchangers that are used at compressor stations [45]:

- Forced draft – the fan is placed under the bundle of tubes and air is forced to go through;
- Induced draft – the fan is placed above and air is pulled through the tubes.

Either way, the air goes upwards. The location of the fan engine can differ. It may go above or below the tube bundle. The latter arrangement is more convenient for installation, repair, inspection and other operations because of easy access. This arrangement does not allow heated air to affect the engine. On the other side, the drive shaft goes right through the tube bundle. It can cause extra vibration and omission of some tubes.

The air cooled heat exchanger 2 AVG-75 is forced draft type of ACHE. The types of ACHEs are presented in Figure 3

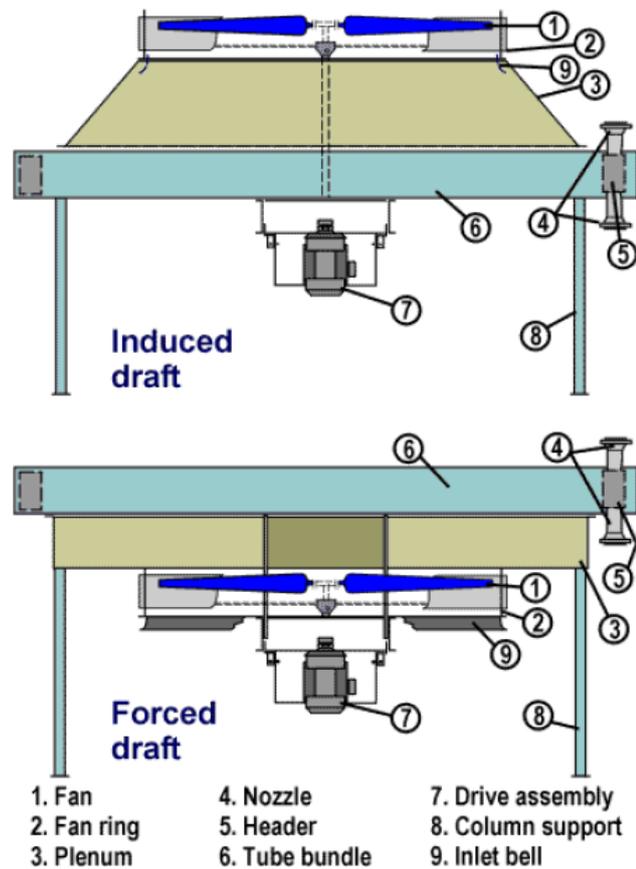


Figure 3 – ACHEs types [46]

The forced draft arrangement is a lot more convenient and easy-to-use. The fan, the engine and other significant components are located below the tube bundle. So it is easy to access and safe maintain them. There is still a problem with this type of ACHE. Recirculation of hot air leads to its re-entry into the heat exchanger and reduces the efficiency of the heat transfer process. There is no such a problem with the induced ACHEs because of high velocity with which air leaves the tube bundle. Induced draft system protects the tube bundle from the possible elements. It stabilizes the process of heat-transfer from sudden changes.

A typical ACHE consists of the following components:

- Tube bundles with finned tubes;
- Headers that connect the tube bundles;
- An axial flow fan;

- An engine (an electric motor) and power transmission device (belt or gear) in order to rotate the fan;
- A plenum that is located between the tube bundle and the fan;
- An overall supporting structure where all the equipment and components of the ACHE are mounted;
- Walkways and ladders for maintaining purposes;
- Louvers to control the amount of passing air;
- Recirculation chambers that are equipped in order to protect fluids in a tube bundle from cold weather (freezing or solidification);
- A variable-frequency drive that sometimes is used for temperature control and power savings.

Tubes can be welded or rolled into tubesheets of rectangular shape. The tubesheets are connected to the header by welding. Both of the headers have screwed plugs which are centered with the tubes. These plugs are used to access the tubes for cleaning and other typical operations. The purpose of headers is to distribute the fluid from the main pipe to the multiple tubes of a tube bundle.

Headers with flanged end plates that are easy to remove for better access to the tubesheets can be used. They are expensive and can cause a leakage so they are applied in cases where frequent maintenance of tubesheets is required. A large rectangular gasket is not easy to install back properly but quite easy to remove. The more the pressure in tubes the more impractical this header is because of thick wall requirement. In case of high pressure, the tubes are installed by welding directly into the section of a header.

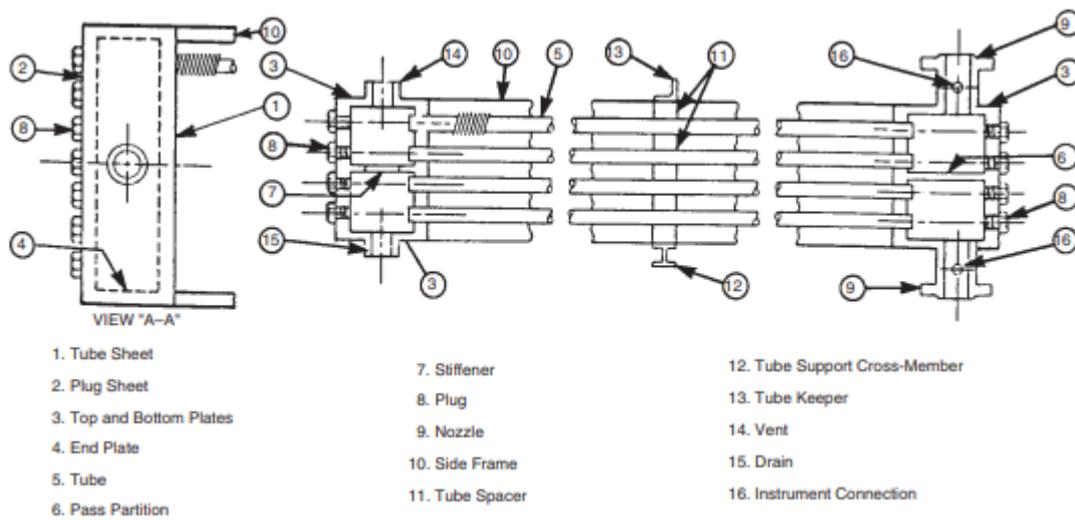


Figure 4 – Typical construction of a tube bundle

Tube supports and spacers are installed in order to fix the tubes in place and to lower the vibration of tubes. Side members which are welded or bolted to the headers, framework and tube supports give structural integrity and support the bundle.

The efficiency, reliability and overall performance of an air-cooled heat exchanger depend on its shape and how well it is maintained. Maintenance plays a significant role in performance and duty of an ACHE.

Axial-flow fans with four or six blades and diameters of 1.8–5.5 m are usually on duty in ACHEs. Smaller or bigger fans are used in extraordinary situations. Aluminum blades are employed for high temperatures and plastic fan blades are employed for temperatures below the 80° C.

Electric motors are most frequently used as fan drivers, but steam turbines are also used. Motor size is generally not more than 37 kW. Speed reduction is usually accomplished using V-belts, high-torque-drive (HTD) belts, or reduction gear boxes. Hydraulic variable-speed drives may also be used. V-belt drives are limited to motor sizes of no more than 22 kW, while HTD can be used with motor sizes up to 37 kW and is more common.

The fan casing, or so called a fan ring or shroud, forms an enclosure around the fan blades. Its purpose is to reduce the loss of air pressure. The plenum can

have different shapes. The most efficient type of a plenum is the one with the bell inlet. Conical and cylindrical types are also equipped. The plenum is a special structure that connects the tube bundle and the fan. It distributes the air that is moved by the fan in forced –draft type of ACHE. The plenum delivers the air from the bottom to the fan intake. Box-type plenums are used most frequently in forced-draft units, whereas tapered plenums are the norm for induced-draft operation.

A special construction known as a diffuser is used in induced draft fan systems. Its purpose is to reduce the speed of heated air. It is made of a short stack with an expanding cross-section. The static pressure of heated air is increased and amount of used power is reduced. There is also a friction loss, but overall net result is still profitable.

3. Improving the air cooled heat exchangers

There are several reasons for optimizing the ACHEs performance.

- More cooling;
- Lower process outlet temperature;
- Reduced power consumption;
- Better process control.

One way to improve the performance of air cooled heat exchanger is to increase airflow from the fans. There are several methods of doing this.

Firstly, increasing the fan blade pitch will increase airflow as long as the fan does not begin to stall and it has enough motor power. If the power of the engine is limited, an upgrade of a motor is required to achieve needed velocity of air. For every 10% increase in airflow, there is a 21% increase in static pressure and a 33% increase in required horsepower. Variable pitch fans are usually employed to control the seasonal temperature changes throughout the year. It is automatically changed and adjusted to give required flow of air and maintain the needed temperature of the fluid. These automated process can be made thanks to temperature controllers and blade adjusting mechanism. The less the airflow the less power is required to maintain it. Variable speed drives have the exact same purpose.

Secondly, increasing the fan speed increases airflow and prevents the fan from stalling, as long as the motor horsepower is high enough. The change of transmission allows to increase the speed of a fan. However, the speed increase also means there will be increase of noise.

Thirdly, installing the inlet bells can increase the airflow by 2 to 3 %. Many ACHEs have sharp edged entrances at the fan inlet. This inlet bell can also reduce noise by as much as 1 dBA. Usually, they are made of fiberglass or galvanized sheet steel. Figure 5 shows the difference between different types of inlets.

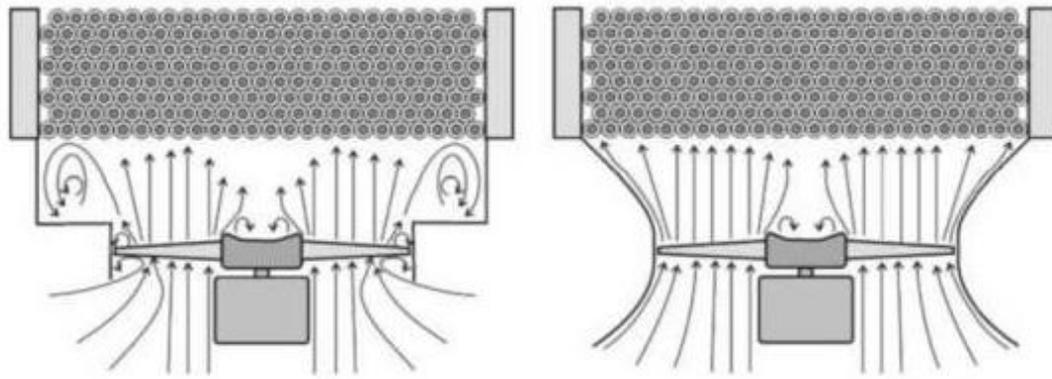


Figure 5 – Standard fan inlet (on the left) and inlet bell (on the right)

Installing high efficiency fans is another method of increasing the airflow. Old ACHEs of the previous century typically have low-efficiency aluminum fans. They have a straight chord, they weigh a lot, cause extra vibration, take more time to accelerate or slow down. Usually straight chord blades have total efficiencies between 35 and 55%. Modern fans are made of fiberglass are more aerodynamic. They have tapered-twisted chord that allows for more airflow off the fan blades at the same power of the engine. These fan blades also have an increased pitch. The total efficiency of them correlates between 75 to 85 %. High efficiency fans give 25 to 40 % more airflow at the same power of the engine. Figure 6 shows the efficient fiberglass fan.



Figure 6 – Installed high efficiency fiberglass fan

The tube bundle is the heart of an ACHE. The tube bundle is the construction that consists of tubes, headers, tube supports, side frames. Usually, the external

surface of a tube has extended surface. Special finning is used to increase the surface of tubes for better heat transfer. The actual tube is cylindrical as it can be seen in figure 7. Helical fins are aluminum, copper or steel. The actual pipe can be made of any suitable metal, that depends on the type of a fluid. The most common metal that is used in fins production is aluminum.



Figure 7 – Fins on the tube

The fins can be divided into three different groups depending on their shape and structure (Figure 8):

- Extruded – the fins are extruded from the wall of an aluminum tube that is integrally bonded to the base tube;
- Embedded – a strip of aluminum is helically wrapped around the tube; the root is embedded into a precut groove and then mechanically locked to secure it;
- Wrap-on - a strip of aluminum that is footed at the root is helically wrapped on the tube.

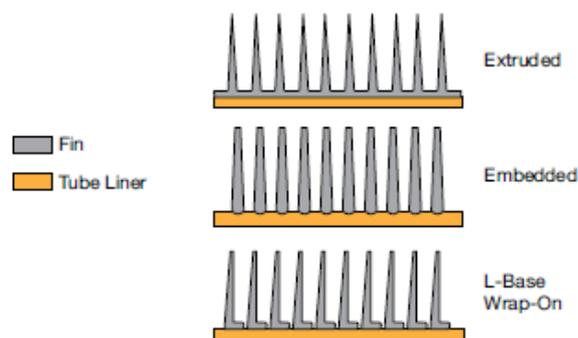


Figure 8 – Aluminum fins

The tube bundle tends to get dirty because of dust particles and plants and its seeds. It depends on the location of an ACHE. The debris that is stuck in the fins and between the tubes does not allow the air to go through the tube bundle efficiently. The debris insulates the coating. The air flow reduces and the efficiency of heat exchange gets low. There is a way to increase the efficiency and duty of unclean surface of a tube bundle. Physically cleaning the tubes can lead from 5 to 50 % increase in duty. The bundle can be cleaned by high-pressure or low-pressure water using the chemicals, or by dry-cleaning. Dry cleaning is simpler and the most effective. The possibility of damaging the fragile tube bundle is lower and there is no need to find a way of disposing the water for cleaning.

If the condition of the finned tubes has significantly degraded due to overheating or excessive corrosion, retubing the bundle with an equivalent or higher-grade type of fin will be required.

Extruded fins are the most efficient types of fins when it comes to the heat transfer. Their structure allows it to be that way over many years.

Embedded fins are as efficient as extruded ones. They are less expensive but they tend to degrade over time at higher speeds. Water washes are crucial to these types of fins because they lead to corrosion. They also require thicker walls of an actual tube to compensate for the mechanical fin groove.

Wrap-on fins are the cheapest of all the types. However, they are vulnerable to damage by thermal upsets and air corrosion.

Serrated fins provide better heat transfer in comparison with non-serrated fins. Serrated fins provide from 15 to 30 % better heat exchange. Increased pressure drop requires powerful motor and drive upgrades, though.

Retubing the bundle is an extra method of increasing the duty of ACHE. Depending on the deterioration of fins it can lead to 10 to 50 % duty increase.

As presented above, the air-cooled heat exchangers play a huge part in the process of natural gas transportation. There are several methods of improving the

performance of ACHE. They include upgrading the fan, cleaning the tube bundle, installing inlet bells and variable speed drives.

Приложение В

Таблица В.1 – Рассчитанные параметры для рабочего колеса

Общие параметры					Рабочее колесо УК-2М				Рабочее колесо ГАЦ-50-4М2			
Месяц	t, °C	λ , Вт·м/ К	ρ , кг/м ³	η , Па·с·10 ⁻⁵	v, м/с	Re	Nu	α , Вт/К	v, м/с	Re	Nu	α , Вт/К
2019 год												
01	-19,9	2,29	1,38	1,63	19,81	95416,24	292,24	117,57	25,36	120632,81	340,35	136,93
02	-16,9	2,32	1,36	1,64	19,81	93248,57	287,90	116,95	25,36	110939,21	322,32	130,93
03	-3,4	2,42	1,28	1,70	19,81	85094,81	271,28	114,94	25,36	108968,96	318,58	134,98
04	-2,6	2,42	1,29	1,71	19,81	85359,49	271,83	115,45	25,36	108297,69	317,31	134,77
05	6,5	2,49	1,25	1,74	19,81	80583,09	261,84	114,27	25,36	103104,77	307,33	134,12
06	11,4	2,52	1,22	1,77	19,81	77889,18	256,12	113,38	25,36	99969,78	301,23	133,35
07	19,2	2,58	1,18	1,80	19,81	74300,75	248,38	112,42	25,36	95842,50	293,08	132,65
08	13,4	2,54	1,21	1,77	19,81	77130,94	254,49	113,31	25,36	98668,33	298,67	132,98
09	7,2	2,49	1,20	1,75	19,81	77340,93	254,94	111,49	25,36	102767,48	306,68	134,11
10	-0,4	2,44	1,27	1,72	19,81	83739,10	268,46	114,78	25,36	107879,03	316,51	135,33
11	-13,9	2,34	1,36	1,66	19,81	92346,34	286,09	117,33	25,36	117865,62	335,26	137,49
12	-14	2,34	1,34	1,66	19,81	91350,15	284,08	116,47	25,36	118676,82	336,76	138,07
2020 год												
01	-13,9	2,34	1,33	1,66	19,81	90566,85	282,49	115,85	25,36	115968,62	331,74	136,05
02	-8,2	2,38	1,22	1,68	19,81	81902,33	264,62	110,48	25,36	104873,91	310,75	129,74
03	-3	2,42	1,28	1,70	19,81	84888,32	270,85	114,90	25,36	108697,40	318,07	134,93

04	2,5	2,46	1,25	1,73	19,81	81957,85	264,74	114,18	25,36	104945,01	310,89	134,08
05	11,8	2,53	1,22	1,77	19,81	78014,86	256,39	113,63	25,36	99896,10	301,08	133,43
06	12,3	2,53	1,22	1,77	19,81	77658,35	255,62	113,45	25,36	99439,59	300,19	133,23
07	18,3	2,57	1,20	1,79	19,81	75238,77	250,42	113,05	25,36	96341,39	294,07	132,76
08	14,4	2,55	1,21	1,78	19,81	76605,32	253,37	113,13	25,36	98091,22	297,53	132,85
09	9,3	2,51	1,23	1,76	19,81	79255,05	259,03	113,97	25,36	101484,13	304,18	133,84
10	-0,1	2,44	1,28	1,72	19,81	84093,40	269,20	115,20	25,36	107679,52	316,13	135,28
11	-7,8	2,38	1,32	1,68	19,81	88513,06	278,31	116,34	25,36	113338,79	326,83	136,62
12	-15,7	2,32	1,37	1,65	19,81	93714,77	288,84	117,78	25,36	119999,44	339,19	138,31
2021 год												
01	-27,3	2,24	1,44	1,60	19,81	101495,36	304,21	119,44	25,36	129962,31	357,24	140,27
02	-26,5	2,24	1,41	1,60	19,81	99587,15	300,48	118,29	25,36	127518,89	352,86	138,92
03	-10	2,37	1,31	1,67	19,81	88526,80	278,34	115,56	25,36	113356,38	326,86	135,70
04	3,4	2,46	1,26	1,73	19,81	82408,56	265,68	114,89	25,36	105522,13	312,00	134,92
05	10,1	2,51	1,23	1,76	19,81	78931,03	258,34	113,93	25,36	101069,23	303,38	133,79
06	14	2,54	1,21	1,78	19,81	77134,26	254,50	113,50	25,36	98768,51	298,87	133,29
07	15,8	2,56	1,20	1,78	19,81	75900,07	251,85	112,90	25,36	97188,17	295,75	132,58
08	18,1	2,57	1,20	1,79	19,81	75394,88	250,76	113,14	25,36	96541,28	294,47	132,87
09	5,3	2,48	1,21	1,74	19,81	78456,08	257,33	111,90	25,36	100461,07	302,19	131,41
10	-0,1	2,44	1,27	1,72	19,81	83344,46	267,64	114,53	25,36	106720,52	314,30	134,50
11	-10,1	2,37	1,27	1,67	19,81	85796,98	272,73	113,19	25,36	109860,92	320,28	132,93
12	-17,8	2,31	1,36	1,64	19,81	93952,62	289,31	117,19	25,36	120304,01	339,75	137,61

Приложение Г

Таблица Г.1 – Рассчитанные параметры для коллектора плавного входа

Общие параметры					До установки КПВ				После установки КПВ			
Месяц	t, °C	λ , Вт·м/ К	ρ , кг/м ³	η , Па·с·10 ⁻⁵	v, м/с	Re	Nu	α , Вт/К	v, м/с	Re	Nu	α , Вт/К
2019 год												
01	-19,9	2,29	1,38	1,63	19,81	95416,24	292,24	117,57	20,40	98278,73	297,90	119,85
02	-16,9	2,32	1,36	1,64	19,81	93248,57	287,90	116,95	20,40	96046,03	293,49	119,22
03	-3,4	2,42	1,28	1,70	19,81	85094,81	271,28	114,94	20,40	87647,65	276,54	117,17
04	-2,6	2,42	1,29	1,71	19,81	85359,49	271,83	115,45	20,40	87920,28	277,10	117,69
05	6,5	2,49	1,25	1,74	19,81	80583,09	261,84	114,27	20,40	83000,58	266,92	116,49
06	11,4	2,52	1,22	1,77	19,81	77889,18	256,12	113,38	20,40	80225,85	261,09	115,58
07	19,2	2,58	1,18	1,80	19,81	74300,75	248,38	112,42	20,40	76529,77	253,20	114,60
08	13,4	2,54	1,21	1,77	19,81	77130,94	254,49	113,31	20,40	79444,87	259,43	115,50
09	7,2	2,49	1,20	1,75	19,81	77340,93	254,94	111,49	20,40	79661,16	259,89	113,65
10	-0,4	2,44	1,27	1,72	19,81	83739,10	268,46	114,78	20,40	86251,27	273,67	117,01
11	-13,9	2,34	1,36	1,66	19,81	92346,34	286,09	117,33	20,40	95116,73	291,64	119,61
12	-14	2,34	1,34	1,66	19,81	91350,15	284,08	116,47	20,40	94090,65	289,59	118,73
2020 год												
01	-13,9	2,34	1,33	1,66	19,81	90566,85	282,49	115,85	20,40	93283,86	287,97	118,10
02	-8,2	2,38	1,22	1,68	19,81	81902,33	264,62	110,48	20,40	84359,40	269,75	112,62
03	-3	2,42	1,28	1,70	19,81	84888,32	270,85	114,90	20,40	87434,97	276,10	117,13
04	2,5	2,46	1,25	1,73	19,81	81957,85	264,74	114,18	20,40	84416,59	269,87	116,39

05	11,8	2,53	1,22	1,77	19,81	78014,86	256,39	113,63	20,40	80355,31	261,36	115,83
06	12,3	2,53	1,22	1,77	19,81	77658,35	255,62	113,45	20,40	79988,10	260,58	115,65
07	18,3	2,57	1,20	1,79	19,81	75238,77	250,42	113,05	20,40	77495,93	255,28	115,25
08	14,4	2,55	1,21	1,78	19,81	76605,32	253,37	113,13	20,40	78903,48	258,28	115,32
09	9,3	2,51	1,23	1,76	19,81	79255,05	259,03	113,97	20,40	81632,70	264,05	116,18
10	-0,1	2,44	1,28	1,72	19,81	84093,40	269,20	115,20	20,40	86616,20	274,42	117,44
11	-7,8	2,38	1,32	1,68	19,81	88513,06	278,31	116,34	20,40	91168,45	283,71	118,60
12	-15,7	2,32	1,37	1,65	19,81	93714,77	288,84	117,78	20,40	96526,21	294,44	120,07
2021 год												
01	-27,3	2,24	1,44	1,60	19,81	101495,36	304,21	119,44	20,40	104540,22	310,11	121,76
02	-26,5	2,24	1,41	1,60	19,81	99587,15	300,48	118,29	20,40	102574,77	306,31	120,59
03	-10	2,37	1,31	1,67	19,81	88526,80	278,34	115,56	20,40	91182,60	283,74	117,80
04	3,4	2,46	1,26	1,73	19,81	82408,56	265,68	114,89	20,40	84880,82	270,83	117,12
05	10,1	2,51	1,23	1,76	19,81	78931,03	258,34	113,93	20,40	81298,96	263,35	116,14
06	14	2,54	1,21	1,78	19,81	77134,26	254,50	113,50	20,40	79448,29	259,44	115,71
07	15,8	2,56	1,20	1,78	19,81	75900,07	251,85	112,90	20,40	78177,07	256,73	115,09
08	18,1	2,57	1,20	1,79	19,81	75394,88	250,76	113,14	20,40	77656,72	255,62	115,34
09	5,3	2,48	1,21	1,74	19,81	78456,08	257,33	111,90	20,40	80809,76	262,32	114,08
10	-0,1	2,44	1,27	1,72	19,81	83344,46	267,64	114,53	20,40	85844,79	272,83	116,76
11	-10,1	2,37	1,27	1,67	19,81	85796,98	272,73	113,19	20,40	88370,89	278,02	115,39
12	-17,8	2,31	1,36	1,64	19,81	93952,62	289,31	117,19	20,40	96771,19	294,93	119,46

Приложение Д (справочное)

Финансово-экономические показатели эффективности проекта

Таблица Д.1 – Показатели для оценки эффективности

Показатели оценки	Характеристика и назначение
Срок окупаемости T_0 (дисконтированный T_d)	Период времени, за который первоначальные затраты на реализацию проекта покрываются суммарными результатами (экономией) от его осуществления
Суммарные дисконтированные затраты (расходы за срок службы, за жизненный цикл) РСС	Позволяют увидеть денежные потоки за пределами срока окупаемости, учитывают не только первоначальные вложения, но всю сумму расходов на протяжении срока службы
Чистый дисконтированный доход ЧДД (NPV, Net Present Value)	Самый применяемый показатель. В отличие от расходов за срок службы, учитывает не только расходы на протяжении жизненного цикла, но и эффект от реализации мероприятий (достижимую экономию). При заданной норме дисконта, расходах и доходах в будущих периодах ЧДД показывает, какой денежный поток заработает проект за конкретный период
Доходность (рентабельность) инвестиций (индекс рентабельности I_d)	Индекс рентабельности (I_d) – удельный показатель, отражает доход в расчете на единицу инвестиций. Чем выше индекс рентабельности, тем удачнее проект; проект отвергается, если индекс доходности меньше единицы
Внутренняя норма доходности ВНД	Внутренняя норма доходности (ВНД) численно равна норме дисконта, при которой сумма дисконтированных притоков денежных средств равна величине дисконтированных оттоков денежных средств за расчетный период, то есть ЧДД=0. Показатель характеризует рентабельность проекта с учетом одновременности доходов и расходов, роста цен, выплаты налогов и т.д.

Срок окупаемости – это период времени, за который первоначальные затраты на реализацию проекта покрываются суммарными результатами (экономией) от его осуществления, он показывает, как долго средства будут заморожены в проекте.

В отличие от срока окупаемости, расходы за срок службы позволяют увидеть денежные потоки за пределами срока окупаемости. Показатель применяется для сравнительного анализа вариантов, равных по результатам, а также для сравнения альтернативных мероприятий разной длительности, давая представление о полной величине расходов на проект на протяжении всего жизненного цикла.

ЧДД (NPV, Net Present Value) – самый универсальный и наиболее распространенный из финансово-экономических показателей оценки инвестиционных проектов. В отличие от расходов за срок службы он учитывает не только расходы на протяжении жизненного цикла, но и эффект от реализации мероприятий (достижимую экономию). При заданной норме дисконта, расходах и доходах в будущих периодах ЧДД показывает, какой денежный поток заработает проект за конкретный период. Представляет собой сумму чистой экономии за весь расчетный период с учетом изменения стоимости денег.

Индекс рентабельности (ИД) отражает доход в расчете на единицу инвестиций и представляет собой отношение дисконтированных доходов к дисконтированным расходам по реализации проекта.

Проект можно принять, если индекс рентабельности >1 ; проект отвергается, если индекс доходности <1 . Чем выше индекс рентабельности, тем более эффективен проект.

Внутренняя норма доходности (ВНД) численно равна норме дисконта, при которой сумма дисконтированных притоков денежных средств равна величине дисконтированных оттоков денежных средств за расчетный период, то есть ЧДД = 0. По существу, этот показатель характеризует рентабельность проекта с учетом одновременности доходов и расходов, роста цен, выплаты налогов и т.д. ВНД – это значение нормы дисконтирования. В программном пакете MS Excel есть функция для вычисления этого показателя. В русскоязычной версии она называется ВСД (Внутренняя ставка доходности).

Можно сравнить ВНД со ставкой дисконта. Если $\text{ВНД} > r$, проект окупает затраты, обеспечивает прибыль в размере ставки дисконтирования, плюс дополнительную прибыль.