

Школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

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

Отделение школы (НОЦ) Нефтегазовое дело

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка решений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции

УДК 622.691.5:620.9-027.236

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8А	Елисеев Кирилл Олегович		06.06.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шадрина А.В.	д.т.н.		06.06.2022

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына З.В.	к.т.н.		11.05.2022

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гуляев М.В.			27.05.2022

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Брусник О.В.	к.п.н.		06.06.2022

Планируемые результаты освоения ООП

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

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

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

Школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

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

Отделение школы (НОЦ) Нефтегазовое дело

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП ОНД ИШПР

_____ 08.02.2022 Брусник О.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Б8А	Елисеев Кирилл Олегович

Тема работы:

Разработка решений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	08.02.2022 г. №39-43/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2022
------------------------------------------	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования – газораспределительные станции; Режим работы – непрерывный; Перекачиваемый продукт – природный газ; Требования к особенностям эксплуатации объекта – повышение энергоэффективности газораспределительных станций.
---------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p align="center">Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>Изучение назначения и классификации газораспределительных станций; Аналитический обзор основного эксплуатируемого оборудования на газораспределительной станции; Анализ методов повышения энергоэффективности на газораспределительной станции; Выбор метода повышения энергоэффективности и оценка его эффективности при внедрении на газораспределительной станции; Обсуждение результатов выполненной работы; Заключение и выводы по работе.</p>
<p align="center">Перечень графического материала</p>	<p>1. Структурные схемы газораспределительной станции с одним и двумя потребителями; 2. Типовая технологическая схема газораспределительной станции; 3. График адиабатического охлаждения газа; 4. Схематический принцип работы турбодетандера; 5. Структурная схема применения турбодетандера малой мощности на ГРС; 6. Карты солнечной и ветровой активности на территории Российской Федерации.</p>
<p align="center">Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p align="center">Раздел</p>	<p align="center">Консультант</p>
<p align="center">«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p align="center">Креницына Зоя Васильевна, доцент</p>
<p align="center">«Социальная ответственность»</p>	<p align="center">Гуляев Милий Всеволодович, ст. преподаватель</p>
<p align="center">Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p align="center">реферат</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p align="center">08.02.2022</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шадрин А.В.	д.т.н.		08.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8А	Елисеев Кирилл Олегович		08.02.2022

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Б8А	Елисееву Кириллу Олеговичу

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело» / «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

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

Расчёт эксплуатационных затрат на реконструкцию узла редуцирования газа газораспределительной станции посредством внедрения детандер-генераторного агрегата	Расчёт затрат на проведение организационно-технических мероприятий по реконструкции узла редуцирования газа газораспределительной станции посредством внедрения турбодетандера
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Произвести расчёт затрат на необходимые мероприятия и материалы, а также оплату труда сотрудников при реконструкции газораспределительной станции	<ol style="list-style-type: none"> 1. Затраты на оплату труда; 2. Затраты на отчисления в социальные фонды; 3. Расчёт срока окупаемости.
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Таблицы:
 - Нормы времени выполнения технологических операций;
 - Затраты на контрагентные услуги;
 - Список работников и тарифные ставки;
 - Надбавки и доплаты к заработной плате;
 - Заработная плата сотрудников;
 - Сводный сметный расчёт затрат на реконструкцию ГРС.
2. Рисунки:
 - Линейный график выполнения реконструкции ГРС;
 - Структура затрат в процентном соотношении.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	08.02.2022
-------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Креницына З.В.	к.т.н		08.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8А	Елисеев Кирилл Олегович		08.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
2Б8А		Елисеев Кирилл Олегович	
Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело» / «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

Тема ВКР:

Разработка решений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> газораспределительная станция.</p> <p><i>Область применения:</i> единая газотранспортная система.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> территория и объекты газораспределительной станции.</p> <p><i>Рабочие процессы:</i> редуцирование и одоризация природного газа, контроль параметров работы газораспределительной станции, проверка исправности оборудования и систем на станции.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ВРД 39-1.10-069-2002 «Положение по технической эксплуатации газораспределительных станций магистральных газопроводов»; 2. Типовая инструкция по охране труда при эксплуатации одоризационных установок ГРС и перевозке одоранта автомобильным транспортом
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ потенциально вредных и опасных производственных факторов; – Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов 	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень шума; 2. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 3. Повышенный уровень локальной вибрации; 4. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего. <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Избыточное давление в оборудовании и газопроводах; 2. Взрывоопасность и пожароопасность;

	<p>3. Производственные факторы воздействия газовых компонентов (включая пары), загрязняющих чистый природный воздух примесей, на организм работающего зависят от их содержания (концентрации) и токсичности;</p> <p>4. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека;</p> <p>5. Производственные факторы, связанные с электрическим током.</p> <p>Средства индивидуальной защиты:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Спецодежда; 2. Каска; 3. Перчатки с покрытием; 4. Наушники противoshумные; 5. Очки защитные закрытые; 6. Страховочная привязь 7. Респиратор/шланговый противогаз 8. Индивидуальный газоанализатор-сигнализатор
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: тепловой взрыв с выбросом продуктов сгорания природного газа, метанола и одоранта</p> <p>Воздействие на литосферу: твёрдые и жидкие бытовые и промышленные отходы</p> <p>Воздействие на гидросферу: сброс охлаждающей воды при использовании в качестве охладителя водных объектов; загрязнение водных объектов промышленными отходами</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы из вентиляционных систем, содержащие природный газ, пары метанола и одоранта</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Возможные ЧС: Природные (наводнения, ураганы, землетрясения и др.); Техногенные (отказ систем оповещения и безопасности, нарушения в технологическом процессе, пожар, взрыв и т.д.) Наиболее типичная ЧС: пожар</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 08.02.2022</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			08.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8А	Елисеев Кирилл Олегович		08.02.2022

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

Школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Уровень образования бакалавр

Отделение школы (НОЦ) Нефтегазовое дело

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2022
------------------------------------------	------------

Дата Контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.01.2022	Введение	5
25.02.2022	Обзор литературы	20
10.03.2022	Общие сведения о ГРС	5
04.04.2022	Анализ методов повышения энергоэффективности ГРС	20
11.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
27.05.2022	Социальная ответственность	10
02.06.2022	Заключение	10
06.06.2022	Презентация	10
	Итого	100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шадрина А.В.	д.т.н.		06.06.2022

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Брусник О.В.	к.п.н.		06.06.2022

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 100 страниц, 16 рисунков, 17 таблиц, 56 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: газораспределительная станция, энергосбережение, энергоэффективность, турбодетандер, редуцирование газа, потенциальная энергия газа.

Объектом исследования является: газораспределительная станция.

Цель работы: разработка решений по повышению энергоэффективности газораспределительных станций.

В процессе исследования были проведены: сравнительный анализ всех возможных решений по повышению энергоэффективности ГРС, как управленческо-административного характера, так и научно-технологического.

В результате исследования: представлен список экономически и технически обоснованных решений по повышению энергоэффективности газораспределительных станций.

Область применения: газораспределительные станции и газораспределительные пункты компании ПАО «Газпром».

Экономическая эффективность/значимость работы: полученные решения позволят снизить затраты на энергоресурсы при их внедрении. Представлены схемы с их внедрением и экономическим обоснованием.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					Разработка решений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции			
Разраб.		Елисеев К.О.			Реферат	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					10	100
Рук-ль ООП		Брусник О.В.				ТПУ гр. 2Б8А		

Определения, сокращения и нормативные ссылки

Термины и определения

Одоризация: процесс придания природному газу запаха.

Одорант: химическое вещество, используемое в качестве примеси к природному газу для придания запаха.

Система ППР: это комплекс организационных и технических мероприятий по уходу, надзору, эксплуатации и ремонту технологического оборудования, направленных на предупреждение преждевременного износа деталей, узлов и механизмов и содержание их в работоспособном состоянии.

Регулятор давления: это устройство для понижения (редуцирования) давления газа и поддержания выходного давления в заданных пределах вне зависимости от изменения входного давления и расхода газа, что достигается автоматическим изменением степени открытия регулирующего органа регулятора, вследствие чего также автоматически изменяется гидравлическое сопротивление проходящему потоку газа.

Сокращения

МГ – магистральный газопровод

ГРС – газораспределительная станция

БК-ГРС – блочно-комплектная газораспределительная станция

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и средства автоматики

ЛПУМГ – линейное производственное управление магистральных газопроводов

РД – регулятор давления

					<i>Разработка решений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Елисеев К.О.</i>			Определения, сокращения и нормативные ссылки	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Шадрина А.В.</i>					12	100
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>				ТПУ гр. 2Б8А		

ДГА – детандер-генераторный агрегат

ТДА – турбодетандерный агрегат

САУ – система автоматизированного управления

ТО и Р – техническое обслуживание и ремонт

ЭХЗ – электрохимическая защита

ППР – планово-предупредительный ремонт

РСГ – счётчик газа ротационный

ВИЭ – возобновляемые источники энергии

ОПО – опасный производственный объект

СИЗ – средства индивидуальной защиты

ЧС – чрезвычайная ситуация

					Определения, сокращения и нормативные ССЫЛКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Нормативные ссылки

ВРД 39-1.10.-069-2002 «Положение по технической эксплуатации газораспределительных станций магистральных газопроводов».

СТО Газпром 2-3.5-051-2006 «Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов».

СТО Газпром 18000.3-006-2017 «Газораспределительные системы. Организация и проведение контроля за соблюдением требований промышленной безопасности при эксплуатации, строительстве и реконструкции. Основные положения».

СТО Газпром 2-2.3-671-2012 «Газораспределительные системы. Общие требования при проектировании, строительстве (реконструкции) и эксплуатации газораспределительных систем».

СТО Газпром 2-2.3-1122-2017 «Газораспределительные станции. Правила эксплуатации»;

Р Газпром 2-1.17-709-2013 «Газораспределительные системы. Унифицированная система управления проектно-строительным комплексом».

Р Газпром 2-1.17-708-2013 «Газораспределительные системы. Унифицированная система управления земельным и имущественным комплексами».

СП 62.13330.2011* (СНиП 42-01-2002) «Газораспределительные системы».

ГОСТ 34670-2020 «Системы газораспределительные. Пункты редуцирования газа. Основные положения»

ГОСТ Р 53865-2019 «Системы газораспределительные. Термины и определения».

					Определения, сокращения и нормативные ССЫЛКИ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СТО Газпром 2-2.3-1081-2016 «Газораспределительные станции. Общие технические требования».

Р Газпром 2-1.20-673-2012 «Система управления энергосбережением в ОАО «Газпром»».

СТО Газпром 12-0-001-2013 «Документы нормативные в области охраны окружающей среды. Основные положения».

ГОСТ 54983-2012 «Системы газораспределительные. Сети газораспределения природного газа. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация».

ГОСТ 24856-2014 «Арматура трубопроводная. Термины и определения»

ГОСТ Р 56019-2014 «Системы газораспределительные. Пункты редуцирования газа. Функциональные требования».

СТО Газпром газораспределение 2.8-2013 «Проектирование, строительство и эксплуатация объектов газораспределения и газопотребления. Методика расчёта эффективности энергосберегающих и инновационных мероприятий при разработке и реализации программ ОАО «Газпром газораспределение»».

					Определения, сокращения и нормативные ССЫЛКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Оглавление

Введение.....	18
1 Обзор литературы	20
1.1 Назначение и классификация газораспределительных станций.....	21
1.2 Схема работы ГРС	24
1.3 Оборудование ГРС.....	31
1.3.1 Регуляторы давления.....	31
1.3.2 Счётчики газа	34
1.4 Эксплуатация, техническое обслуживание и планово-предупредительный ремонт ГРС.....	39
2 Энергоэффективность и энергосбережение.....	41
2.1 Мероприятия повышения энергоэффективности организационно-управленческого характера.....	41
2.2 Мероприятия повышения энергоэффективности посредством технических мероприятий.....	43
2.2.1 Внедрение турбодетандера	43
2.2.2 Проведение ТО и Р	48
2.2.3 Возобновляемые источники энергии.....	50
2.3 Оценка эффективности внедрения ДГА на ГРС	53
2.3.1 Определение коэффициента сжимаемости газа.....	54
2.3.2 Расчёт удельных энтальпий газа.....	55
2.3.3 Расчёт электрической мощности ДГА	56
2.3.4 Определение затрат на газ для теплообменника.....	58

					Разработка решений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Елисеев К.О.</i>			Оглавление	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Шадрина А.В.</i>					16	100
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>				ТПУ гр. 2Б8А		

3	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	62
3.1	Расчёт нормативной продолжительности выполнения работ	62
3.2	Затраты на оплату труда	65
3.3	Отчисления в социальные фонды	68
3.4	Сводная смета затрат.....	69
3.5	Оценка эффективности.....	70
	Выводы по разделу	71
4	Социальная ответственность	73
4.1	Правовые и организационные вопросы безопасности	73
4.2	Производственная безопасность.....	74
4.2.1	Анализ вредных факторов.....	76
4.2.2	Анализ опасных факторов.....	80
4.3	Экологическая безопасность	86
4.3.1	Анализ воздействия объекта на атмосферу.....	86
4.3.2	Анализ воздействия объекта на гидросферу	87
4.3.3	Анализ воздействия объекта на литосферу	87
4.3.4	Анализ воздействия объекта на селитебную зону	88
4.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	88
	Выводы по разделу	91
	Заключение	92
	Список используемых источников.....	94
	Приложение А	100

Введение

Газовая отрасль имеет огромное значение в структуре топливно-энергетического комплекса России и других стран. Протяжённость эксплуатируемых газотранспортными дочерними обществами Группы Газпром МГ и отводов на территории России составляет 176,8 тыс. км, проложенных в различных геологических и природно-климатических условиях [1].

Одним из основных объектов газотранспортной системы является газораспределительная станция. ГРС представляет собой совокупность установок и технического оборудования измерительных и вспомогательных систем для снижения и поддержания давления газа с определённой точностью.

На март 2020 г. на территории РФ эксплуатируется более 4000 ГРС, из них больше 60 % (2479) находятся в работе более 20 лет и являются стационарными [1].

С утверждением Федерального закона от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (дополнения от 8 мая, 27 июля 2010 г.) в ПАО «Газпром» возникает необходимость в повышении энергоэффективности всех эксплуатируемых объектов, в том числе и ГРС.

Выполнение политики энергосбережения на ГРС можно достичь несколькими способами: улучшение политики администрирования и управления объектом, модернизация с применением энергоэффективного оборудования, строительство ГРС в блочно-модульном исполнении.

					<i>Разработка предложений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		Елисеев К.О.			Введение		
<i>Руковод.</i>		Шадрина А.В.					
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
						18	100
					ТПУ гр. 2Б8А		

Таким образом, целью работы является разработка решений по повышению энергоэффективности газораспределительных станций.

Для достижения поставленной цели, были сформулированы следующие задачи:

- анализ функционального назначения газораспределительной станции в газотранспортной системе;
- изучение нормативно-технической документации по проектированию, эксплуатации и обслуживанию газораспределительных станций;
- проведение литературного обзора по выбранной тематике;
- выявление направлений повышения энергоэффективности при эксплуатации как отдельных узлов, так и станции в целом;
- расчёт оценки эффективности внедрения детандер-генераторной установки на газораспределительной станции.

Для решения вопросов декарбонизации и адаптации к глобальной энергетической трансформации нефтегазовые рассматривают повышение энергоэффективности и энергосбережения в качестве основного инструмента для реализации задач. Данная тема остаётся актуальной и по сей день.

					<i>Введение</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		19

1 Обзор литературы

Газотранспортная система – сложный технологический объектом. ГРС являются конечным звеном МГ, на них газ доводится до нужных условий (давления, степени очистки и одоризации), а поступивший на станцию газ должен соответствовать ГОСТ 51.40-93.

Проведено большое количество исследований на тему повышения энергоэффективности ГРС за счёт различных технических перевооружений, модернизаций и реконструкций станций, некоторые из них внедрены ПАО «Газпром». Модернизация и реконструкция станций может проходить по следующим направлениям.

Для повышения энергоэффективности узлов редуцирования газа, которые используют электричество/природный газ для работы различных компонентов, в Изобильненском ЛПУМГ на ГРС установлены БК устройства электроснабжения с солнечными модулями. Солнечные генераторы и ветро-солнечные модули обеспечивают энергией пункты редуцирования ООО «Газпром межрегионгаз» [7].

В 2020 г. в Группе Газпром использовались 2573 подобные установки на базе вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии и общий объём электроэнергии, выработанный на этих установках, составил 1805,24 МВт*ч [7].

Ещё одним из методов модернизации ГРС является установка ТДА. Данное решение описывается в статье Воронова В.А. и Самигуллина Г.Х. «Применение турбодетандеров на газораспределительных станциях с целью получения сжиженного газа». При дросселирование газа в «пустую» тратится значительный объём энергии. В связи с чем, Газпром проводит энергетическое

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					<i>Разработка предложений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции</i>			
Разраб.		Елисеев К.О.			Обзор литературы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					20	100
Рук-ль ООП		Брусник О.В.				ТПУ гр. 2Б8А		

обследование объектов и оценку эффективности внедрения турбодетандеров. Применение этой технологии, позволяет не только охлаждать газ, но и вырабатывать электроэнергию на собственные нужды, а излишки могут быть перенаправлены в электросеть.

На основании исследований в статье Т.С. Кадыгарова, Е.Г. Крылова, А.Д. Лагутина, Н.В. Козловцева «Модернизация блока подогрева газа на АГРС» можно сделать заключение, что изменение технических характеристик кожухотрубчатого теплообменного аппарата для подогрева газа перед редуцированием, таких как уменьшение диаметра теплоносителей и увеличения их количества для увеличения площади соприкосновения позволяет снизить общие тепловые потери. Данное решение уменьшит затраты на потребление электричества на станции.

Ежегодно в период плановых остановок на ГРС проводится ТО и Р, с заменой или без замены оборудования. Замена одоризаторов, регуляторов давления, газовых подогревателей, а также трубопроводной арматуры и средств КИПиА производится при истечении срока эксплуатации или в случаях неисправности. Так мероприятия, направленные на сохранение природного газа и повышения надёжности ГРС могут быть затратными и беззатратными, с ремонтом и модернизацией оборудования [8].

Подобные действия требуют капиталовложения, однако модернизация или техническое перевооружение с внедрением новых типов оборудования позволяет увеличивает надёжность, безопасность и безаварийность работы ГРС, что в свою очередь повышает энергоэффективность объекта [8].

1.1 Назначение и классификация газораспределительных станций

Основные задачи ГРС:

- подготовка газа;
- подогрев газа;

					<i>Обзор литературы</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

- редуцирование до нормативного давления и поддержание его с заданной точностью;
- одоризация газа;
- распределение газа по потребителям;
- измерение количества реализованного газа [9].

Существует несколько классификаций ГРС, приведём основные из них. ГРС классифицируются по следующим критериям.

1. По конструкции различают три типа станций:

- индивидуального проектирования. Разрабатывают специализированные проектные организации. Подобные станции располагаются вблизи крупных промышленных объектов и населённых пунктов;
- блочно-комплектные (БК-ГРС). Данный тип позволяет значительно снизить затраты и сроки строительства, имеют одну или две выходные линии. Регуляторное оборудование, КИПиА, система отопления располагаются в блок-боксах, а узлы очистки, одоризации и подогрева – на открытой площадке;
- автоматические ГРС (АГРС). Оснащены такими же технологическими узлами, что и другие типы станций, однако всё оборудование располагается в нескольких металлических шкафах и комплектуется дополнительным оборудованием и оградой. Работа станции осуществляется в автоматическом режиме.

2. По производительности различают:

- мини ГРС (менее 1 тыс. м³/ч), (Урожай-0,1, Саратов-0,1, Сириус и др.);

					<i>Обзор литературы</i>	<i>Лист</i>
						22
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- станции малой производительности ($1 - 50 \frac{\text{тыс. м}^3}{\text{ч}}$). К ним относятся некоторые типы АГРС (АГРС-1, АГРС-1/3, «Энергия-1», «Энергия-3», «Ташкент -1» и «Ташкент-2»);
- средней производительности ($50 - 160 \frac{\text{тыс. м}^3}{\text{ч}}$). К такому типу относятся БК-ГРС (БК-ГРС-1-30, БК-ГРС-Н-70, БК-ГРС-1-150);
- к ГРС большой производительности (свыше $160 \frac{\text{тыс. м}^3}{\text{ч}}$) относятся станции, построенные по индивидуальным проектам. Чаще всего, это ГРС и контрольно-измерительные пункты, подающие и распределяющие газ для крупных промышленных объектов и районов (БК ГРС-320, ГРС-БКУ 100 и др.).

3. По назначению выделяют:

- станции на ответвлении МГ (на конечном участке его ответвления к населённому пункту или промышленному объекту) производительность от $1 - 5$ до $300 - 500 \frac{\text{тыс. м}^3}{\text{ч}}$;
- промысловые ГРС для подготовки газа, добытого на промысле, а также снабжения газом близлежащего к промыслу населённого пункта;
- контрольно-измерительные пункты, размещаемые на ответвлениях от МГ к промышленным или сельскохозяйственным объектам, а также для питания кольцевой системы газопроводов вокруг города, производительностью от $2 - 3$ до $10 - 12 \frac{\text{тыс. м}^3}{\text{ч}}$;
- АГРС для снабжения газом небольших населённых пунктов на ответвлениях от МГ, производительностью $1 - 3 \frac{\text{тыс. м}^3}{\text{ч}}$;
- газорегуляторные пункты (ГРП), производительностью $1 - 30 \frac{\text{тыс. м}^3}{\text{ч}}$, для снижения давления газа и поддержания его на

					Обзор литературы	<i>Лист</i>
						23
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

заданном уровне на городских сетях высокого и среднего давления;

- газорегуляторные установки для питания газовых сетей или целиком объектов с расходом газа до $1,5 \frac{\text{тыс.м}^3}{\text{ч}}$ [9,10,11].

В настоящее время в основном применяются БК АГРС. Комплекуются и собираются на заводах и после испытаний в виде крупных транспортабельных блоков, состоящих из оборудования, ограждающих конструкций, систем управления и защиты, поставляются на строительные площадки. После установки блоков на проектные отметки, сборки внутренних соединительных трубопроводов, присоединения к внешним коммуникациям ГРС вводятся в эксплуатацию без разборки и ревизии.

Параметрический ряд БК АГРС включает в себя следующие типоразмеры:

- на входное давление 5,6 МПа производительностью ($\frac{\text{тыс. м}^3}{\text{ч}}$): 1; 3; 10; 40; 80; 40/80; 160; 80/80; 200; 40/160; 300; 100/20; 600; 40/40;
- на входное давление 7,5 МПа производительностью: 3; 5; 25-40-80-40/40; 40/80; 100; 80/80.

1.2 Схема работы ГРС

Основными блоками ГРС являются: технологический, управления КИПиА, источников. Помимо этого, станция содержит укрытия для основных блоков, дом операторов и вспомогательные блоки связи, ЭХЗ, охранной сигнализации (рисунок 1).

					Обзор литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

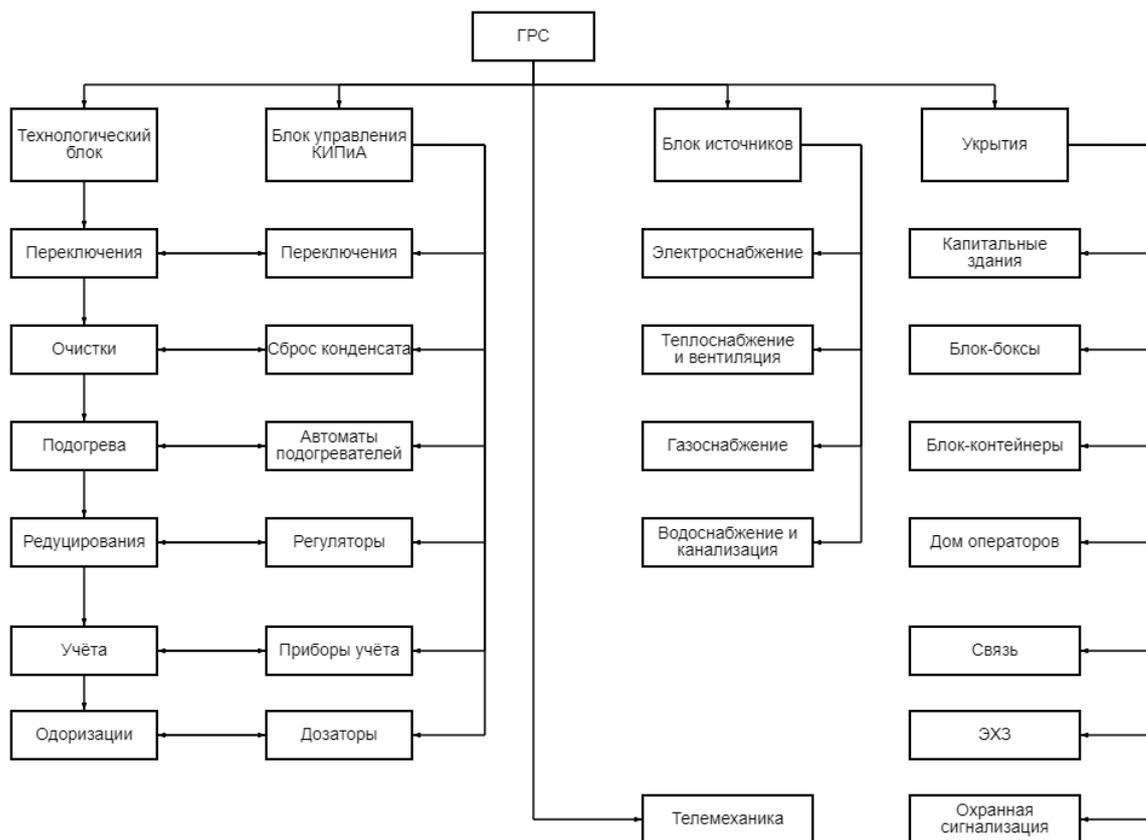


Рисунок 1 – Структурная схема ГРС

Технологический блок состоит из подблоков: переключения, очистки газа, подогрева, редуцирования, учёта расхода газа и одоризации.

ГРС состоит из следующих узлов и систем:

а. узлы:

- *переключения*, предназначен для переключения потока газа высокого давления с автоматического на ручное регулирование давления по обводной линии, а также для предотвращения повышения давления в линии подачи газа с помощью предохранительной арматуры;
- *очистки газа*, предназначен для очистки газа от механических твёрдых и жидких примесей;
- *предотвращения гидратообразования*, предназначен для предотвращения обмерзания арматуры и образования кристаллогидратов;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- *редуцирования газа*, предназначен для снижения и автоматического поддержания заданного давления газа;
- *учёта газа*, предназначен для учёта количества расхода газа с помощью различных расходомеров и счётчиков;
- *одоризации газа*, предназначен для добавления одорантов;

в. системы:

- отбора газа на собственные нужды;
- подготовки импульсного газа;
- телемеханики;
- технологической связи;
- ИТСО и САЗ;
- автоматического управления;
- освещения;
- электроснабжения;
- электрохимической защиты;
- отопления и вентиляции;
- контроля загазованности;
- молниезащиты и заземления;
- азотирования
- пожаробнаружения;
- водоснабжения и канализации.

В состав ГРС с производительностью более $2 \frac{\text{тыс.м}^3}{\text{ч}}$ при условии экономической целесообразности могут быть включены установки по утилизации энергии транспортируемого газа [10,11].

К ГРС и размещению оборудованию предъявляются следующие нормы и правила:

1. В блоке переключения ГРС должны быть предусмотрены:

- краны с пневмоприводом на входном и выходном газопроводе;

					Обзор литературы	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- обводная линия, соединяющая входной и выходной газопроводы, оснащённая двумя кранами: первый по ходу газа (отключающий), второй для ручного регулирования при отключении станции;
 - предохранительные клапаны с переключающими трехходовыми кранами на каждом выходном газопроводе и свечой для сброса газа;
 - изолирующие фланцы на входном и выходном газопроводах для сохранения потенциала катодной защиты.
2. Блок отключения должен располагаться на расстоянии не менее 10 м от здания ГРС.
 3. Количество редуцирующих ниток определяется исходя из производительности ГРС, но не менее двух, причём одна из них резервная. При производительности ГРС более $100 \frac{\text{тыс.м}^3}{\text{ч}}$ допускается предусмотреть дополнительную линию постоянного расхода газа с ручным краном или другими дросселирующими устройством с расходом, составляющим от 30 до 40 % от максимальной пропускной способности ГРС.
 4. Автоматическая защита редуцирующих ниток должна осуществляться кранами с пневмоприводом или с помощью контрольных регуляторов. Редуцирующие нитки могут выполняться:
 - По схеме защиты на кране с пневмоприводом, состоящей из крана с пневмоприводом, регулятора давления и ручного крана;
 - По схеме защиты с контрольным регулятором, состоящей из ручного крана, контрольного и рабочего регуляторов;
 - По схеме защиты с кранами с пневмоприводами, состоящей из крана с пневмоприводом, ручного крана для дросселирования и крана с пневмоприводом.
 5. Блок измерения расхода отпускаемого потребителю газа должен соответствовать требованиям ГОСТ 8.563.1-97, ГОСТ 8.563.2-97.

					Обзор литературы	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6. Отбор газа на собственные нужды должен осуществляться от выходного газопровода ГРС после одоризации.
7. Скорость газа в трубах ГРС не должна превышать 25 м/с.
8. Газ, который подают потребителям в населённые пункты обязательно должен быть одорирован. Блок одоризации газа, как правило, устанавливается на выходе станции. Для одоризации газа рекомендуется использовать этилмеркаптан не менее 16 г на 1000 м³ газа при стандартных условиях (температура 20 °С, давление 101325 Па). По согласованию с органами Государственного надзора и потребителем, газ не одорируют для промышленных предприятий и электростанций.
9. При помощи специальных кранов с пневмоприводом, автоматическая защита обязана обеспечить включение в работу резервной нитки в случае недопустимого отклонения давления газа на выходе рабочей нитки. Затем, должна включиться аварийная электрическая сигнализация в операторной ГРС или, при надомном обслуживании, в доме оператора.
10. Между ГРС, потребителем и диспетчером ЛПУМГ должна быть предусмотрена связь, отвечающая нормативным требованиям [13].

В зависимости от количества потребителей будет зависеть и схема ГРС.



Рисунок 2 – Структурная схема ГРС с одним потребителем [10]



Рисунок 3 – Структурная схема ГРС с двумя потребителями [10]

ГРС осуществляет работу следующим образом (рисунок 4): через охранный кран при высоком давлении, газ поступает на вход ГРС из МГ в узел подключения (I). Трубопровод подвода газа выполнен подземно.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

После прохождения входного крана блока переключения, газ проходит через расходомер, производится расход газа входной линии.

Далее газ очищается от механических примеси и капельной влаги в блоке очистки (II). За счёт центробежных сил и закручивания потока происходит отделение жидкости в циклонных пылеуловителях (ПУ). Скопившееся жидкость в нижней части ПУ сливается в конденсатную ёмкость, расположенную на площадке станции [9, 10, 11].

После очищенный газ поступает на узел редуцирования (IV), при этом часть газа проходит через узел подогрева для предотвращения гидратообразования (III).

Количество и типоразмер блоков подогрева газа подобраны так, чтобы на выходе ГРС температура была не менее 5 °С для нормальной работы оборудования и предотвращение его оледенения.

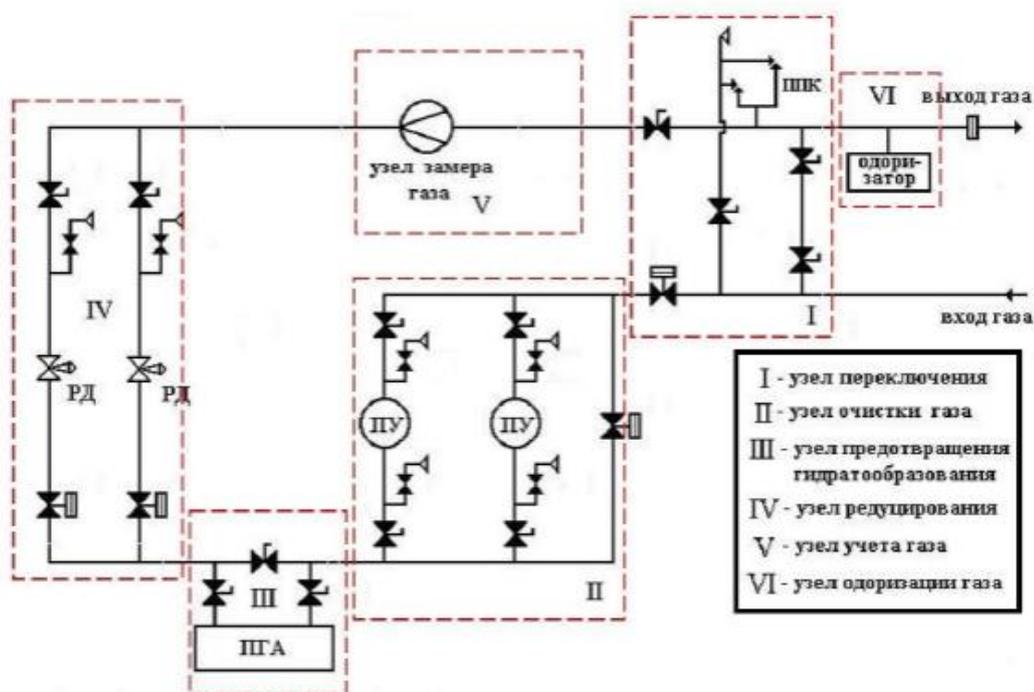


Рисунок 4 – Технологическая схема ГРС [11]

Снижение давления в блоках редуцирования осуществляется регуляторами давления. Все нитки редуцирования выполнены по схеме: кран

с дистанционным управлением привода, два последовательно установленных регулятора давления, кран с ручным приводом.

После редуцированный газ поступает узел коммерческого замера (V). Расход измеряется счётчиками газа с различным принципом работы. Для сброса давления трубопроводы узла замера имеют свечи, и оборудованы штуцерами для продувки инертным газом (азотом).

Пройдя отключающие краны, расположенные в блоке переключения, с помощью блоков одоризации (VI) природный газ одорируется автоматически и пропорционально расходу. Для хранения запаса одоранта применяется подземная ёмкость.

При необходимости есть возможность непродолжительного снабжения потребителя газом, минуя ГРС, по обводной линии (байпасу), расположенному в блоке переключения (I) [9, 10, 12, 13, 14].

1.3 Оборудование ГРС

1.3.1 Регуляторы давления

Регулятор давления (РД) – это устройство для редуцирования давления газа и поддержания выходного давления в заданных пределах. Изменение расхода и давления газа не влияет на поддержания выходных параметров РД, поскольку автоматически изменяется степень открытия регулирующего органа, что и приводит к изменению его гидравлического сопротивления проходящему потоку газа [9].

РД в общем виде представлен следующими компонентами:

- датчик, осуществляющий непрерывный мониторинг текущего значения регулируемой величины и подаёт сигнал к регулирующему устройству;
- задатчик, вырабатывающий сигнал заданного значения регулируемой величины (требуемого выходного давления), а

					<i>Обзор литературы</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		31

также передаёт его на регулирующее устройство (пружина или пневмозадатчик «пилот»);

- регулирующее устройство, осуществляющее алгебраическое суммирование текущего и заданного значений регулируемой величины, и попадает командный сигнал к исполнительному механизму (мембрана, эластичный затвор);
- исполнительный механизм, преобразующий командный сигнал в регулирующее воздействие, и в соответствующее перемещение регулирующего органа за счёт энергии рабочей среды.

РД подразделяются на два типа регуляторов «до себя» и «после себя», в зависимости от поддерживаемого давления, сохраняющие постоянное давление соответственно перед собой и за собой [9].

Систему автоматического регулирования необходимо всегда рассматривать в целом – «регулятор и объект регулирования (газовая сеть)», поскольку РД предназначены для поддержания постоянного давления в заданной точке газовой сети [15].

Регулятор давления газа прямоточный типа РДУ

Регуляторы давления газа типа РДУ – одноканальные, статические, прямого действия, работающие без использования постороннего источника энергии – обеспечивает автоматическое регулирование давления газа по схеме «после себя» на объектах МГ высокого давления (ГРС, установках очистки и осушки газа, газовых промыслах и др.)

Регулятор давления газа «ЛОРД»

Данный тип РД поршневой, т.е. отсутствуют резиновые/пластиковые манжеты, не имеет мембраны, что повышает надёжность регуляторов и позволяет продлить периодическое проведение ТО, встраиваются в выходной трубопровод. Работает без использования постороннего источника энергии. В сравнении с другими регуляторами имеет малые габаритные размеры и вес

					<i>Обзор литературы</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

конструкции, легко монтируется и демонтируется на ГРС в течение короткого срока времени [17].

Регулятор давления мембранного типа РДЭ

Регулятор давления газа 149-BV представлен единой конструкцией, где все составляющие части соединены стальными импульсными трубками [18].

В таблице 1 и 2 представлены характеристики описанных выше регуляторов давления высокого давления, применяющихся на ГРС.

Таблица 1 – Регуляторы давления [16, 17, 18]

Наименование	Внешний вид	Особенности конструкции и работы
Прямоточный РД РДУ-100		<p>большая пропускная способность; высокое быстродействие; самопроизвольное закрытие при прорыве мембраны; регулятор «после себя»</p>
Линейно-осевой РД «ЛОРД»		<p>стабильная работа при малых расходах; отсутствие мембраны; поддержание выходного давления без постороннего источника энергии эксплуатируется при температуре до – 60 °С; регулятор «после себя»</p>
РД с эластичным затвором «149-BV»		<p>стабильная работа при малых расходах; эксплуатируется при температуре до – 40 °С;</p>

Таблица 2 – Основные технические характеристики РД [16, 17, 18]

Параметр	РДУ-100	149-BV	ЛОРД
Диаметр номинальный, Дн, мм	25-100	25-200	10-150
Номинальное давление, не более, МПа	10,0	10,0	12,5/25,0
Диапазон настройки выходного давления, МПа	от 0,1 до 1,2 от 1,2 до 5,0	0,1-4,0	0,1-10,0
Условная пропускная способность K_v , м ³ /ч	16-200		2-400 (в зависимости от Дн)
Коэффициент пропускной способности K_G	50-200	420-14300	
Минимальный перепад давления на регуляторе, МПа	-		0,2
Максимальный перепад давления на регуляторе, МПа	9,5	9,5	
Масса, кг,	50-393	67-570	-

1.3.2 Счётчики газа

Узел учёта газа предназначен для коммерческого учёта газа, т.е. измерение его расхода. Число линий измерения зависит от числа выходных газопроводов из ГРС. Техническое выполнение блоков измерения расхода газа должно соответствовать ГОСТ 8.586.1-2005 «Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств» [19].

Основными целями учёта газа являются:

- контроль за расходными и гидравлическими режимами систем газоснабжения;
- анализ и оптимальное управление режимами поставки и транспортировки газа;
- составление баланса в газотранспортной и газораспределительной системах;
- контроль за рациональным и эффективным использованием газа [9].

Основным объектом в узле учёта является расходомер. Это устройство для определения расхода газа, транспортируемого по трубопроводу в единицу времени. Классификация средств учёта газа приведена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Классификация расходомеров газа по принципу действия

*-расходомеры, не допускаемые к применению в узлах коммерческого учёта;

-расходомеры, не включённые в СТО Газпром 5.32-2009; *-расходомеры, допускаемые к применению в узлах коммерческого учёта при некоторых условиях

В таблицах 3-5 представлены основные виды расходомеров, их технические характеристики и достоинства и недостатки.

Таблица 3 – Виды расходомеров и принцип их работы [20-25]

Вид расходомера	Внешний вид	Принцип работы
<p>Вихревой расходомер серии MT100VX</p>		<p>Работа базируется на эффекте Кармана. При помещении тела с плохой обтекаемостью в поток вязкого газа, то за ним появляется след из регулярных вихрей. Форма обтекания устанавливает метрологические характеристики.</p>
<p>Турбинный расходомер TRZ 03</p>		<p>Расходомер содержит в своей конструкции специальную турбину. Под действием проходящей рабочей среды турбинное колесо приводится во вращательное движение. Прибор измеряет количество оборотов, а также скорость вращения турбины, она же пропорциональна величине расхода.</p>
<p>Ультразвуковой расходомер УЗР-ИГМ878</p>		<p>Принцип действия основан на эффекте Доплера. Пьезоэлемент отправляет сигнал в среду, а два приёмных элемента фиксируют время прохождения звуковых волн в газовой среде. Распространение волн по течению газа и против имеет различное значение. Приёмный элемент передаёт данные в вычислительный блок, где происходит сравнение.</p>

<p>Кориолисовый расходомер Micro Motion серии T</p>		<p>Принцип действия основан на эффекте Кориолиса. Принцип работы заключается в фиксации изменений фаз механических колебаний в трубках, по которым транспортируется измеряемая среда. Так как разность между фазами на входной и выходной частях расходомерной трубки прямо пропорциональна расходу измеряемого вещества в конкретный период времени, можно определить эту величину.</p>
-----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Таблица 4 – Технические характеристики расходомеров газа [20-25]

Характеристики	Вихревой WBZ 08	Турбинный TRZ 03	Ультразвуковой USZ 08	Кориолисовый Micro Motion серии T
Пределы измерений расхода газа, м ³ /ч	от 65 до 40000	от 10 до 25000	от 6 до 110000	-
Пределы допускаемого значения относительной погрешности измерений, %	-	$Q_{\min} \leq Q < 0,2 Q_{\max} \mp 1$	$0,05 Q_{\max} \leq Q \leq Q_{\max}$	$\mp 0,5$ от значения расхода для газа
Диаметр условного прохода, мм	от 40 до 600	от 50 до 600	от 100 до 1000	-
Масса, кг		от 13 до 1625	от 90 до 2950	-

Рабочее давление, МПа	до 10	от 0 до 10	от 1 до 30	до 10
Диапазон температур окружающего воздуха/измеряемого газа, °С	-	от -40 до +60 / от -40 до +50	- / от -40 до +40	-
Срок службы	-	не менее 30 лет	не менее 30 лет	-

Таблица 5 – Сводный список достоинств и недостатков расходомеров [20-25]

Тип расходомера	Достоинства	Недостатки
Вихревой	<ol style="list-style-type: none"> отсутствие подвижных частей; большой диапазон измерений; линейный измерительный сигнал; независимость показаний от давления и температуры. 	<ol style="list-style-type: none"> не применим при малых скоростях потока; значительная потеря давления (30-50 кПа); нарушение работы при возникновении акустических и вибрационных пульсаций.
Кориолисовый	<ol style="list-style-type: none"> отсутствие потребности в прямолинейном участке для монтажа прибора, в отличие от других измерителей; измерение массы, а также плотности перемещаемого вещества прямым методом; невосприимчив к помехам и вибрациям; возможность осуществления корректировок расходуемых объёмов в зависимости от давления и температуры вещества. 	<ol style="list-style-type: none"> сложная конструкция, что приводит к удорожанию; расходомерные трубки имеют ограничения в размере диаметра, т.к. рассчитаны на высокое давление среды.
Ультразвуковой	<ol style="list-style-type: none"> небольшие габаритные размеры; высокая точность измерений; широкий диапазон измерения; незначительное падение давления. 	<ol style="list-style-type: none"> влияние акустических помех; зависимость уровня измерительного сигнала от давления среды; сложность реализации жёстких требований к точности измерения временных интервалов (точность должна быть не хуже 0,4 нс для обеспечения разрешения по скорости 0,001 м/с согласно (ГОСТ ISO

		17089 «Измерение расхода в закрытых каналах – ультразвуковые счётчики газа»).
Турбинный	<ol style="list-style-type: none"> 1. точность; 2. возможность использования в трубопроводах с рабочим давлением до 10 МПа; 3. энергонезависимость 4. малые габариты и вес; 5. относительно низкая чувствительность к пневмоударам; 6. широкий диапазон измерения расхода газа. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. изменения давления среды приводят к неточностям показаний; 2. при малых расходах не применим; 3. высокая очистка среды; 4. при пульсациях расхода выдаёт погрешность из-за запаздывания.

1.4 Эксплуатация, техническое обслуживание и планово-предупредительный ремонт ГРС

Объектами эксплуатации являются территории ГРС, а также здания и сооружения. Эксплуатация ГРС включает:

- выполнение ТО;
- диагностирование и контроль технического состояния устройств, узлов и систем, а также зданий и сооружений, входящих в состав ГРС;
- выполнение ремонтов, в том числе КР технологического оборудования и технических устройств, узлов и систем, зданий и сооружений, входящих в состав ГРС.

На станции все узлы и системы, технические устройства и технологическое оборудование должны соответствовать проекту, паспортам (формулярам) организации-изготовителей и требованиям в области промышленной безопасности [11].

Для поддержания технологического оборудования, узлов и систем в работоспособном состоянии проводят техническое обслуживание и ППР на ГРС.

Система ТО и ППР включает:

- ТО оборудования ГРС;

					Обзор литературы	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

- плановые ремонты (текущий, капитальный);
- инструментальные проверки (испытания), предусматривающие определение и подтверждение параметров работоспособности;
- работы, связанные с сопровождением встроенного программного обеспечения программно-технических комплексов;
- внеплановые (аварийные) ремонты оборудования.

При выполнении работ по ТО и ППР должен соблюдаться комплексный подход. Вспомогательное оборудование, технологически связанное с основным, ремонтируется одновременно с основным для сокращения времени простоя основного оборудования.

Смысл системы ППР состоит в том, что проводятся профилактические осмотры, а также, разные виды плановых ремонтов. Это происходит тогда, когда конкретное оборудование отработало определённое время. Периодичность и продолжительность такого ремонта зависит от особенностей оборудования – ремонтных и конструктивных, а также условий его эксплуатации.

Главное составляющее ППР – надзор и уход (внутрисменное обслуживание), а также выполнение плановых ремонтов оборудования. В содержание ППР также входят проведение профилактических осмотров оснащения. Обычно, осмотры возлагаются на эксплуатационных работников [13].

2 Энергоэффективность и энергосбережение

Вопросы энергоэффективности и энергосбережения актуальны для многих отраслей, в том числе и нефтегазовой. Важно стало это с принятием новых требований по климату, направленных на снижение загрязнения атмосферы.

Энергоэффективность относится к числу приоритетных направлений в государственной экономической политике РФ. Для реализации данной задачи компании руководствуются Федеральным законом от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (изменения от 8 мая, 27 июля 2010 г.).

Повышение энергоэффективности процессов на предприятии реализуется посредством технических и организационно-управленческих мероприятий.

2.1 Мероприятия повышения энергоэффективности организационно-управленческого характера

В качестве нормативно-технической базы для реализации политики энергосбережения и энергоэффективности компании создают собственную документацию. Так ОАО «Газпром» разработали регламент Р Газпром 2-1.20-673-2012 «Система управления энергосбережением в ОАО «Газпром»» для реализации энергосберегающей политики компании.

Целями энергосберегающей политики ОАО «Газпром» являются:

- эффективное использование энергетических ресурсов для устойчивого роста компании, повышения энергетической эффективности и конкурентоспособности;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					<i>Разработка предложений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции</i>			
Разраб.		Елисеев К.О.			Энергоэффективность и энергосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					41	100
Рук-ль ООП		Брусник О.В.				ТПУ гр. 2Б8А		

- повышение энергетической энергоэффективности технологических процессов и объектов ОАО «Газпром»;
- укрепление внешнеэкономических позиций ОАО «Газпром».

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- максимальная реализация потенциала энергосбережения во всех видах деятельности ОАО «Газпром» на основе осознанного вовлечения работников в реализацию энергосберегающей политики компании с использованием механизмов государственной поддержки;
- повышение энергетической эффективности объектов ОАО «Газпром» на основе применения инновационных технологий и энергоэффективного оборудования;
- совершенствование управления энергосбережением ОАО «Газпром»;
- обеспечение снижения техногенной нагрузки и негативного воздействия на окружающую среду [6].

На сегодняшний день, повышение энергоэффективности на ГРС можно достичь следующими способами:

- оперативное применение предупреждающих и корректирующих действий, направленных на постоянное совершенствование системы управления энергосбережения;
- повышение энергетической эффективности на основе применения инновационных технологий и энергоэффективного оборудования;
- обеспечение снижения техногенной нагрузки и негативного воздействия на окружающую среду;
- мониторинг показателей энергосбережения и энергетической эффективности технологических объектов ОАО «Газпром» [6].

2.2 Мероприятия повышения энергоэффективности посредством технических мероприятий

Для ГРС, работающих более 20 лет, вне зависимости от условий её эксплуатации, конструктивного исполнения и назначения, должна быть проведена комплексная техническая диагностика технологической обвязки ГРС по «Методике проведения диагностирования трубопроводов и обвязок технологического оборудования ГРС».

2.2.1 Внедрение турбодетандера

Для редуцирования газа традиционно использовались дроссельные заслонки. Понижение давления подготовленного природного газа сильно влияет на температуру, что приводит к замерзанию заслонки, деформированию труб и др.

Решение проблемы за счёт использования теплообменных аппаратов не всегда эффективно, так как требуется большое количество энергии и топлива для нагрева котла. Стоимость энергии растёт, в связи с чем компании нашли способ уменьшить потери, внедрив детандеры, позволяющие генерировать энергию за счёт перепада давления.

Применение расширительных машин – детандеров, где происходит адиабатическое расширение газа с отдачей внешней работы на вал агрегата, позволяет охладить рабочую среду сильнее в сравнении с дросселированием, при этом расширяющийся газ передаёт часть своей энергии элементам детандера, которые и совершают внешнюю работу [26, 27].

В изоэнтропном 1-2 процессе расширения газа температура его снижается от T_1 до T_2 (рисунок 21). Изменение состояния газа определяется показателем адиабаты k . В процессе 1-2_b (с подводом теплоты, $dQ > 0$) реализуется политропический процесс с показателем политропы $n < k$, а в процессе 1-2_a (с отводом теплоты, $dQ < 0$) – $n > k$. Параметры состояния газа меняются в соответствии с зависимостью (формула 1):

					Энергоэффективность и энергосбережение	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(n-1)/n} \quad (1)$$

Процесс снижения температуры газа при расширении оценивается производной температуры по давлению, взятой по линии расширения и называется дифференциальным эффектом охлаждения (α) (формула 2) [27]:

$$\alpha = \left(\frac{dT}{dP}\right) \quad (2)$$

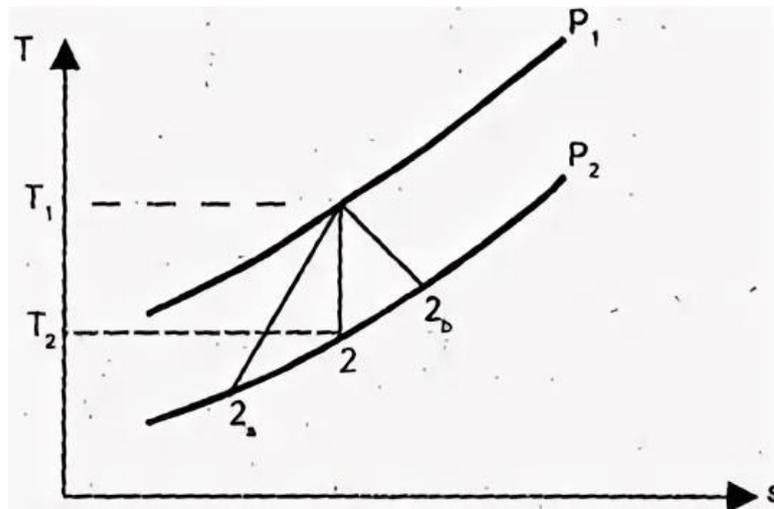


Рисунок 6 – Охлаждающий эффект расширения газов [27]

Детандеры классифицируются в зависимости от вида рабочего элемента на следующие типы:

- *поршневые* для установок высокого давления с небольшой холодопроизводительностью;
- *турбодетандеры* радиального центробежного типа для установок со значительной холодопроизводительностью и большим расходом газа среднего и высокого давления;
- *винтовые* для установок, работающих на неочищенных газах с высоким содержанием частиц жидкой фазы [26].

По расширению газа в соплах детандеры делятся на:

- *активные*, где понижается давление в неподвижных направляющих каналах;

- *реактивные* понижение давление происходит также и во вращающихся каналах ротора [28].

Турбодетандерный агрегат (ТДА) – это расширительная машина непрерывного действия с рабочим органом – лопаточной турбиной (рисунок 7).

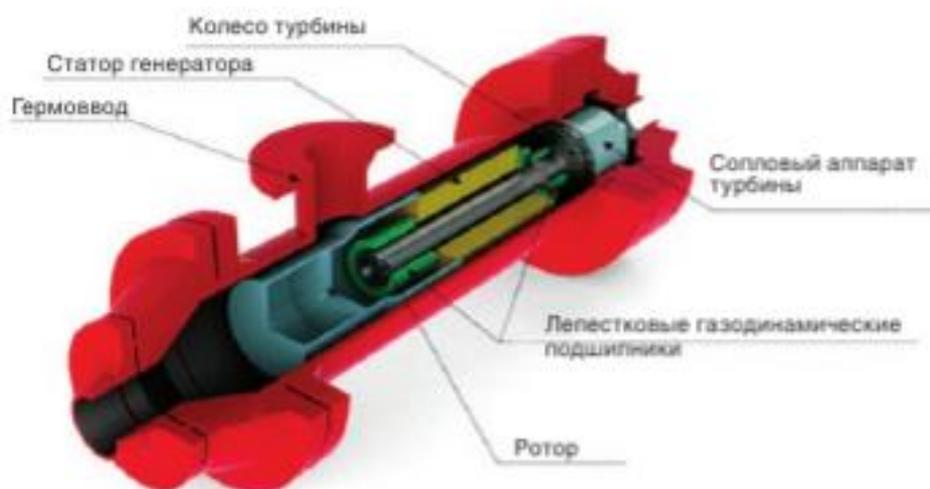


Рисунок 7 – Устройство турбодетандера МДГ-20 [30]

Основная функция ТДА – охлаждение рабочей среды, но машина, работающая на перепаде давления также позволяет получать механическую и электрическую энергию [29].

В общем в газовой промышленности турбодетандеры используются для:

- расширения и охлаждения природного газа в установках сжижения;
- пуска ГТУ ГПА, а также для проворачивания её ротора при остановке (с целью его охлаждения). При этом турбодетандер работает на транспортируемом газе;
- привода компрессора высокого давления с целью подачи газа в подземные хранилища;
- выработки электроэнергии на ГРС, особенно актуально для станций, расположенных вдали от инфраструктуры [29].

Принцип работы агрегата, следующий (рисунок 8): природный газ высокого давления проходит через неподвижные направляющие каналы, именуемые соплами, преобразуя потенциальную энергию газа в кинетическую, и систему вращающихся лопаточных каналов ротора. При попадании в турбодетандер газ резко расширяется и давление в системе падает, и при совершении им механической работы вращения ротора происходит интенсивное охлаждение газа. Для предотвращения обмерзания оборудования, перед входом в ТДА газ подогревается. Вращательные движения приводят в действие электрогенератор, который превращает механическую энергию вращения ротора в электрическую. Из агрегата газ низкого давления (понижение давления до 1,2 МПа) поступает далее в узел замера и одоризации.

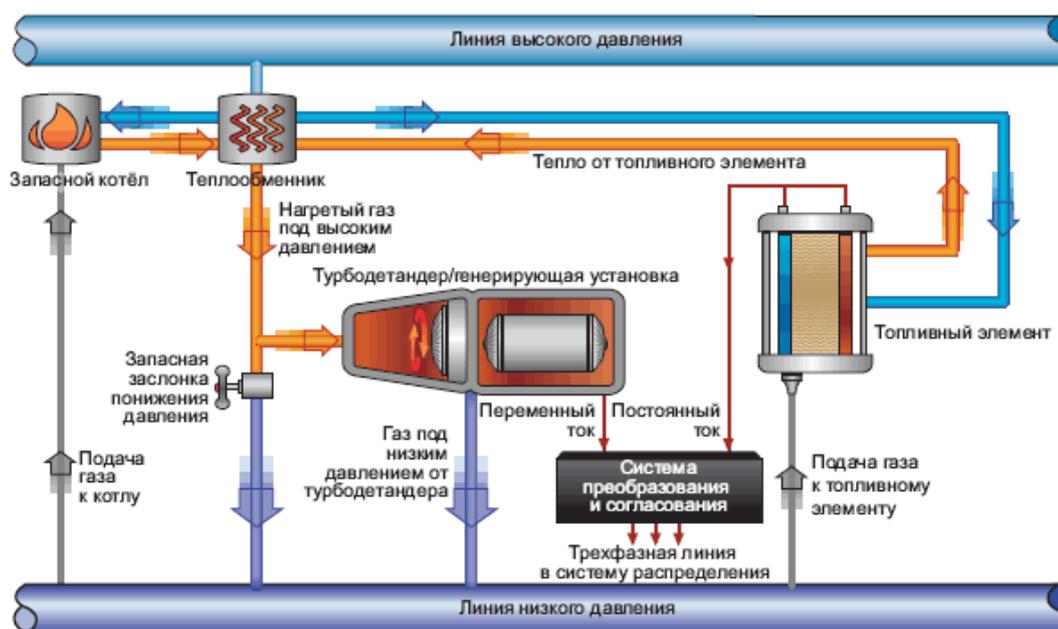


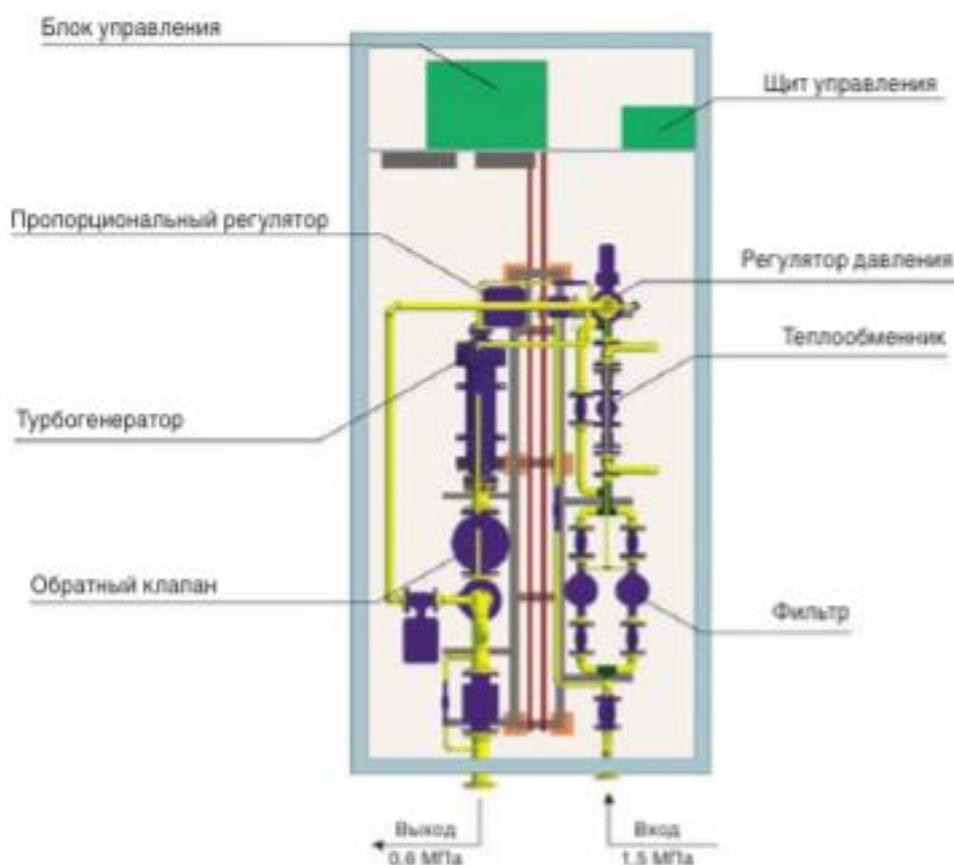
Рисунок 8 – Схематический принцип работы турбодетандера [30]

КПД турбодетандеров очень высокий в пределах 80-90 % в зависимости от типа устройства и расхода газа на ГРС. При малых расходах возможно применение микротурбодетандеров, например МДГ-20. Его основные характеристики:

- номинальная электрическая мощность – 20 кВт;

- входная температура газа – 35 – 45 °С;
- расход газа 1200 м³/ч;
- скорость вращения турбины 40000 об/мин;
- КПД – 90 %.

Применение данного ТДА позволило на 100 % заместить электрическую энергию потребляемую ГРС «Сертолово» ЛПУМГ «Северное» в пос. Сертолово Ленинградской области (рисунок 9) [30].



Габаритные размеры блок-бокса L-В-Н (мм): 6000-2400-3000

Рисунок 9 – Компоновочная схема размещения МДГ-20 в блок-боксе ГРС «Сертолово» [30]

Однако для применения ТДА должно соблюдаться несколько важных замечаний:

- расход газа через ГРС должен сохраняться на одном уровне, что не всегда возможно соблюдать, поскольку существует «сезонная

неравномерность» потребления газа. Летом потребляется газа меньше, чем зимой;

- в процессе внедрения турбодетандера на ГРС, необходимо правильно подобрать теплообменный аппарат для подогрева газа перед входом в турбодетандер. Поскольку температурный перепад в ТДА составляет в среднем 50-80 °С, то газ следует подогревать до температуры не меньше 90-95 °С, чтобы замёрзшая вода не повредила лопатки ТДА.

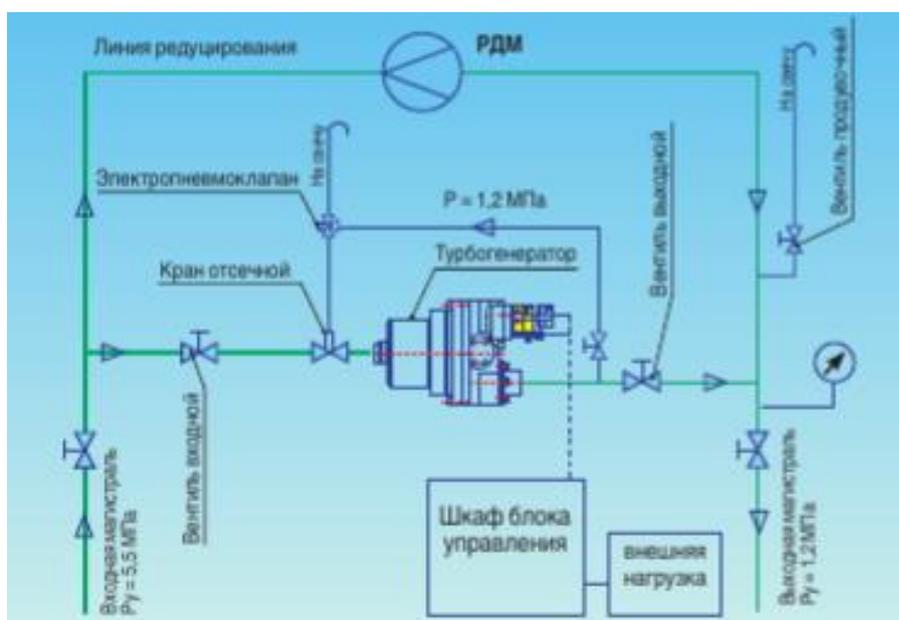


Рисунок 10 – Структурная схема применения турбодетандера мощностью 2-5 кВт на ГРС [30]

В связи с высоким разнообразием ТДА на рынке и различной загруженностью ГРС окупаемость проекта от внедрения агрегата может варьироваться от 2 до 7,5 лет [31].

2.2.2 Проведение ТО и Р

Согласно Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ ГРС относится к опасным производственным объектам (ОПО), поскольку: используются, хранятся, транспортируются опасные вещества (природный газ, одорант,

метанол), используется оборудование, работающее под избыточным давлением, используется стационарно установленные грузоподъемные механизмы [32].

В связи с этим, ПАО «Газпром» принимает все меры для обеспечения безопасной, безаварийной и бесперебойной работы объекта. Согласно ВРД 39-1.10-069-2002 «Положение по технической эксплуатации газораспределительных станций магистральных газопроводов», утвержденным ОАО «Газпром» одной из главных задач является своевременное и качественное выполнение ТО и ППР оборудования ГРС. Соблюдение подобных задач необходимо, поскольку используется большое количество разнообразного оборудования. Так несвоевременное обнаружение утечки газа может привести к опасной ситуации для здоровья работника, аварии на станции, а то и к пожару или взрыву.

Промышленная организация обязана иметь программу ТО и Р, в которой декларируются основные принципы по применению наиболее эффективных методов и режимов ТО и Р, также в данном документе провозглашается стратегия эксплуатации оборудования, обеспечивающая принципы управления этим процессом в соответствии с фактическим техническим состоянием. На основе положений программы ТО и Р разрабатывается «Регламент технического обслуживания и ремонта оборудования», а также инструкции для обслуживающего и ремонтного персонала [33].

Понятие ТО и Р включает следующее:

- производственное техническое обслуживание, осуществляемое в процессе эксплуатации эксплуатационным персоналом;
- межремонтное техническое обслуживание, предусматривающее проведение технических уходов, замену смазки, продувку, чистку и устранение мелких неисправностей (работы выполняются ремонтным персоналом). При правильной организации работ

сроки службы оборудования увеличиваются, простой снижается, а затраты на ремонт снижаются.

- плановые ремонты (текущие, капитальные) задачей которых является обеспечение бесперебойной работы оборудования и предупреждение его преждевременного изнашивания [33].

Согласно данным ПАО «Газпром», в 2015 году компании удалось сократить расход газа на технологические нужды ГРС на 37,7 %, а также потери газа на технологических объектах ГРС на 8,7 %, что эквивалентно 4,9 млн. м³. Результаты достигнуты благодаря внедрению инновационных технологий, повышению герметичности и проведению профилактических мероприятий по предупреждению повреждений газопроводов и оборудования [34].

2.2.3 Возобновляемые источники энергии

Применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) — это ещё один из вариантов повышения энергоэффективности на ГРС [36].

ВИЭ – это энергоресурсы постоянно существующих природных процессов на планете, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биоценозов растительного и животного происхождения [37].

ВИЭ классифицируют по видам энергии:

- механическая (энергия потоков воды и ветра);
- тепловая и лучистая (энергия солнечного излучения и геотермальная);
- химическая (биомассы) [37].

В ПАО «Газпром» наиболее широкое применение нашли солнечная и ветровая энергетика, так как присутствуют в каждой точке Земли.

В летний безоблачный день посылаемое Солнцем количество энергии равно 0,7-0,9 млн. кВт на 1 м², однако большая часть энергии рассеивается в

					Энергоэффективность и энергосбережение	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50

атмосфере. Есть большое число факторов, которые делают малоэффективной солнечную энергетику:

- при проектировании солнечной электрической станции (СЭС) необходимо изучить географию региона. На КПД влияет количество безоблачных дней и солнечной радиации ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$). Карты солнечной активности и продолжительности солнечного сияния на территории России представлены на рисунках 11 и 12 соответственно;



Рисунок 11 – Карта солнечной активности на территории РФ [36]

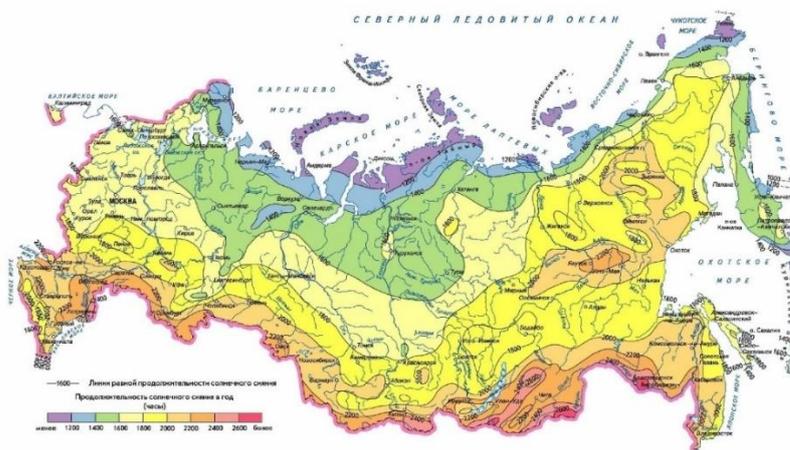


Рисунок 12 – Карта солнечной активности на территории РФ [36]

- низкий КПД фотоэлементов солнечных батарей (11-44,6 %, среднее значение 20-25 %) и их высокая стоимость;

- затраты на аккумуляторы, для сбора излишков энергии, поскольку в ночное время СЭС не вырабатывает энергии [37, 38, 39].

Для ветроэнергетики также требуются определённые природные условия. Ветер характеризуется скоростью, являющейся случайной переменной в пространстве и времени. На рисунке 13 представлена карта ветровых ресурсов РФ.

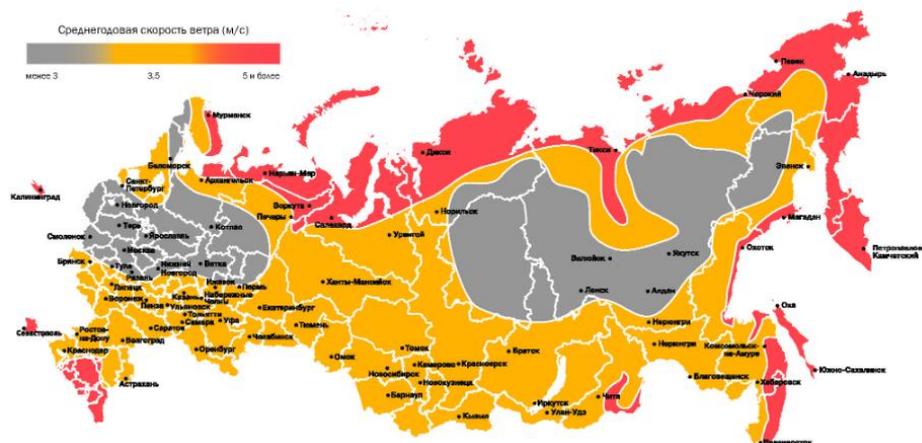


Рисунок 13 – Карта ветровой активности России [36]

Самые очевидные зоны для строительства ветровых электростанций – это прибрежные районы, холмы, возвышенности. Однако для безаварийной работы, сила ветра должна находиться в интервале от 3 до 25 м/с [36].

Если наложить карты солнечной и ветровой активности, то можно определить территории с более благоприятными условиями для строительства комбинированных (солнечные панели + ветряки) электростанций (рисунок 14).



Рисунок 14 – Потенциал использования ВИЭ на территории РФ [36]

Не смотря на высокий срок окупаемости электростанций на основе ВИЭ (6-22 лет для ветроустановок, 7-14,5 лет для солнечных станций), ПАО «Газпром» внедряет подобные идеи, но в одиночном порядке. В Изобильненском ЛПУМГ Ставропольского края все пункты редуцирования обеспечены электроэнергией за счёт установки блочно-комплектных устройств электроснабжения с ветро-солнечными модулями. В 2020 г. в Группе Газпром использовалось 2573 энергоустановок на базе ВИЭ, что позволило выработать 13,281 млн. МВт·ч электроэнергии [7, 36].

2.3 Оценка эффективности внедрения ДГА на ГРС

Для подтверждения эффективности разработок, описанных ранее, в качестве примера, проведём расчёт оценки эффективности внедрения ДГА на ГРС.

Оценка проводится для ГРС-1, г. Кемерово, Кемеровской области от отвода МГ «Нижевартовск-Парабель-Кузбасс», внедряется одноступенчатый ДГА с подогревом газа перед детандером. В качестве греющего теплоносителя принимается вода. Исходные данные для расчёта оценки представлены в таблице 6. Все данные приведены на 2022 год.

Таблица 6 – Исходные данные [55]

Параметр	Обозначение	Единицы измерения	Значение
Абсолютное давление газа на входе в ГРС	$p_{ГВХ1}$	МПа	4
Температура газа на входе в детандер	$T_{ГВХД1}$	°С	5
Абсолютное давление газа на выходе ГРС	$p_{ГВЫХ3}$	МПа	1,2
Температура газа на выходе из детандера	$T_{ГВЫХ3}$	°С	5
Расход газа	$G_{Г}$	$\frac{нм^3}{ч}$	50000
Плотность газа	$\rho_{Г}$	$\frac{кг}{м^3}$	0,672
Низшая теплота сгорания газа	$Q_{Н}^p$	$\frac{кДж}{м^3}$	35400
Внутренний относительный КПД генератора	η_{oi}	д. ед.	0,8
Электрический КПД генератора	$\eta_{ген}$	д. ед.	0,9
Механический КПД генератора	$\eta_{мех}$	д. ед.	0,9
КПД теплообменника	$\eta_{го}$	д. ед.	0,9
Разности температур в теплообменнике между греющей и нагреваемой средами: на входе	u_1	°С	10
на выходе	u_2	°С	10

2.3.1 Определение коэффициента сжимаемости газа

По заданным давлению $p_{ГВЫХ3}$ и температуре $T_{ГВЫХ3}$ газа на выходе детандера (в данном случае – и на выходе со станции технологического понижения давления) определяем коэффициент сжимаемости Z_3 метана (Приложение А, таблица А.2):

$$Z_3 = 0,971 (p_3 = 1,2 \text{ МПа}, t_3 = 5 \text{ °С}).$$

Так как, коэффициент сжимаемости является функцией давления и температуры, расчёт температуры $T_{ГВХД2}$ газа на входе в детандер проводится методом последовательных приближений. Для этого произвольно задаётся

температура газа на входе в детандер, затем по Приложению А (таблица А.2) по давлению газа $p_{ГВХД2}$ и заданной температуре $T_{ГВХД2}$ газа на входе детандера определяется значение Z_2 :

$$Z_2 = 0,9657 (p_2 = 4 \text{ МПа}, t_2 = 74 \text{ }^\circ\text{C}).$$

Температура $T_{ГВХД2}$ газа на входе в детандер определяется из формулы 2:

$$T_{ГВХД2} = \frac{Z_3}{Z_2} \times \frac{T_{ГВЫХД3}}{\left\{ \eta_{oi} \times \left[\left(\frac{p_{ГВЫХД3}}{p_{ГВХД2}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] + 1 \right\}}, \quad (2)$$

где: $T_{ГВХД1}$ – температура газа на входе в детандер;

Z_3 – коэффициент сжимаемости газа на выходе из ДГА;

Z_2 – коэффициент сжимаемости газа на входе в ДГА;

$T_{ГВЫХД3}$ – температура газа на выходе из ДГА, К;

η_{oi} – внутренний относительный КПД генератора ДГА;

$p_{ГВЫХД3}$ – абсолютное давление газа на выходе ГРС, атм.;

$p_{ГВХД2}$ – абсолютное давление газа на входе в ГРС, атм.;

k – показатель адиабаты (для метана (многоатомного газа) равен $k \approx 1,3$).

$$T_{ГВХД2} = \frac{0,971}{0,9657} \times \frac{278,15}{\left\{ 0,8 \times \left[\left(\frac{12}{40} \right)^{\frac{1,3-1}{1,3}} - 1 \right] + 1 \right\}} = 73,87 \text{ }^\circ\text{C} \approx 74 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Полученное значение температуры приблизительно совпадает с заданным, таким образом, условие выполняется.

2.3.2 Расчёт удельных энтальпий газа

Определим удельные энтальпии газа на входе $h_{ГВХД2}$ и выходе $h_{ГВЫХД3}$ детандера, зная давление и температуру газа на входе и выходе из ДГА по Приложению А (таблица А.1):

					Энергоэффективность и энергосбережение	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55

$$h_{\text{ГВХД2}} = 1280,34 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (\text{при } p_{\text{ГВХД2}} = 4 \text{ МПа}, t_{\text{ГВХД2}} = 74 \text{ }^\circ\text{C});$$

$$h_{\text{ГВЫХД3}} = 1134,84 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (\text{при } p_{\text{ГВЫХД3}} = 1,2 \text{ МПа}, t_{\text{ГВХД3}} = 5 \text{ }^\circ\text{C})$$

2.3.3 Расчёт электрической мощности ДГА

Электрическая мощность ДГА при заданных $G_{\text{Г}}$, $\eta_{\text{мех}}$, $\eta_{\text{ген}}$, определяется по формуле 3:

$$N_{\text{ТДЭУ 1}} = G_{\text{Г}} \times (h_{\text{ГВХД2}} - h_{\text{ГВЫХД3}}) \times \eta_{\text{мех}} \times \eta_{\text{ген}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{ТДЭУ}}$ – электрическая мощность ТДА, кВт;

$G_{\text{Г}}$ – массовый расход газа, кг/с (формула 4);

$$G_{\text{Г}}(\text{массовый}) = \rho_{\text{Г}} \times G_{\text{Г}}(\text{объёмный}), \quad (4)$$

где $\rho_{\text{Г}}$ – плотность газа, кг/м³,

$$G_{\text{Г}}(\text{массовый}) = \frac{0,672 \times 53000}{3600} = 9,893 \text{ кг/с};$$

$h_{\text{ГВХД2}}$ – удельная энтальпия газа на входе в ТДА, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$;

$h_{\text{ГВЫХД3}}$ – удельная энтальпия газа на выходе из ТДА, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$;

$\eta_{\text{мех}}$ – механический КПД генератора,

$\eta_{\text{ген}}$ – электрический КПД генератора.

$$N_{\text{ТДЭУ 1}} = 9,893 \times (1280,34 - 1134,84) \times 0,9 \times 0,9 = 1165,9 \text{ кВт.}$$

Электрическая мощность ДГА может быть определена также по уравнению без определения энтальпий газа (формула 5):

$$N_{\text{ТДЭУ 2}} = \frac{\left(\frac{k}{k-1}\right) \times R \times T_{\text{ГВХД2}} \times Z_2 \times \left[1 - \left(\frac{p_{\text{ГВЫХД3}}}{p_{\text{ГВХД2}}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] \times G_{\text{Г}} \times \eta_{oi} \times \eta_{\text{мех}} \times \eta_{\text{ген}}}{\mu_{\text{CH}_4}}, \quad (5)$$

					Энергоэффективность и энергосбережение	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		56

где μ_{CH_4} – молярная масса метана, $\mu_{\text{CH}_4} = 16 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$;

R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \times \text{моль}}$,

$$N_{\text{ТДЭУ 2}} = \frac{\left(\frac{1,3}{1,3-1}\right) \times 8,314 \times 347,15 \times 0,971 \times \left[1 - \left(\frac{12}{40}\right)^{\frac{1,3-1}{1,3}}\right] \times 9,893 \times 0,8 \times 0,9 \times 0,9}{16}$$
$$= 1180,3 \text{ кВт.}$$

Рассчитаем погрешность полученных значений мощностей ДГА по формуле 6:

$$\delta = \left| \frac{(N_{\text{ТДЭУ 1}} - N_{\text{ТДЭУ 2}})}{N_{\text{ТДЭУ 2}}} \right| \times 100 \%, \quad (6)$$

$$\delta = \left| \frac{1165,9 - 1180,3}{1180,3} \right| \times 100 \% = 1,22 \%$$

Рассчитанные по разным зависимостям мощности ДГА различаются менее чем на 5 %. Такое расхождение для данных оценочных расчётов вполне допустимо, что говорит о возможности использовать для расчёта оба уравнения.

По формуле 8 рассчитаем количество электроэнергии в течение года, вырабатываемой ДГА при годовом числе часов работы $\tau = 7900$ ч/г. Общее число часов наработки ДГА в год составляет 8000 часов, из них 100 часов отводится на ТО и Р.

$$W = \tau \times N_{\text{ТДЭУ 2}}, \quad (8)$$

где W – количество электроэнергии в год, вырабатываемой ТДА, кВт×ч/год;

τ – годовое число часов работы ТДА, $\tau = 7900$ ч/г;

$N_{\text{ТДЭУ 2}}$ – электрическая мощность ТДА, кВт.

$$W = 7900 \times 1180,3 = 9,32 \text{ млн } \frac{\text{кВт} \times \text{ч}}{\text{год}}$$

2.3.4 Определение затрат на газ для теплообменника

Определим расход топливного газа, необходимого для сжигания в котле, по формуле 9:

$$G_{\Gamma} = \frac{N_{\text{ТДЭУ}} \times \tau}{Q_{\text{H}}^{\text{P}}}, \quad (9)$$

где $N_{\text{ТДЭУ}}$ – электрическая мощность ТДА, кВт;

τ – годовое число часов работы ТДА, ч;

Q_{H}^{P} – низшая теплота сгорания газа, $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 35400 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$.

$$G_{\Gamma} = \frac{1180,3 \times 7900}{35400} = 263,4 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Годовые затраты на топливо определяются по формуле 10:

$$Z_{\text{год}}^{\text{T}} = G_{\Gamma} \times \tau \times T_{\Gamma}, \quad (10)$$

где $Z_{\text{год}}^{\text{T}}$ – годовые затраты на топливо, тыс. руб./год;

G_{Γ} – годовой расход топливного газа для подогрева газа перед входом в ДГА, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$;

T_{Γ} – тариф на газ, $T_{\Gamma} = 5,99 \frac{\text{руб}}{\text{м}^3}$ [56].

$$Z_{\text{год}}^{\text{T}} = 263,4 \times 7900 \times 5,99 = 12464351 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

При продажной цене электроэнергии $3,1 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \times \text{ч}}$ стоимость проданной электроэнергии определяется по формуле 11:

$$C_{\text{ээ}} = N_{\text{ТДЭУ} 2} \times \tau \times T_{\text{ээ}}, \quad (11)$$

где $C_{\text{ээ}}$ – стоимость проданной электроэнергии, руб.;

$T_{\text{ээ}}$ – тариф на электроэнергию, $T_{\text{ээ}} = 3,1 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \times \text{ч}}$ [3].

					Энергоэффективность и энергосбережение	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

$$C_{\text{ээ}} = 1180,3 \times 7900 \times 3,1 = 28905547 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Прибыль от продажи электроэнергии определяется по формуле 12:

$$\Pi = C_{\text{ээ}} - Z_{\text{год}}^{\text{T}} \quad (12)$$

где Π – прибыль от продажи электроэнергии, руб.;

$C_{\text{ээ}}$ - стоимость проданной электроэнергии, тыс. руб.;

$Z_{\text{год}}^{\text{T}}$ – годовые затраты на топливный газ, тыс. руб.

$$\Pi = 28905547 - 12464351 = 16441196 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

При стоимости киловатта установленной мощности ДГА, равной (1000 $\frac{\text{долларов}}{\text{кВт}} = 60310 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$) [55], и мощности ДГА, равной 1180,3 кВт, рассчитаем простой срок окупаемости по формуле 13:

$$PBP = \frac{P_{\text{э}} \times N_{\text{ТДЭУ}}}{\Pi}, \quad (13)$$

где PBP (Pay-back period) – простой срок окупаемости, год;

$P_{\text{э}}$ – стоимость киловатта установленной мощности ДГА, $P_{\text{э}} = 60310 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$;

$N_{\text{ТДЭУ}}$ – электрическая мощность ДГА, кВт;

Π – прибыль от продажи электроэнергии, руб.

$$PBP = \frac{60310 \times 1180,3}{16441196} \approx 52 \text{ месяца} \approx 4,4 \text{ года.}$$

Теплота, которая должна быть получена газом в теплообменнике подогрева газа определяется по формулам 14 и 15. Удельная энтальпия газа и удельная изобарная теплоёмкость газа определяются по таблицам приложения 1:

$$Q_{\text{Г}} = G_{\text{Г}} \times (h_{\text{ГВЫХО2}} - h_{\text{ГВХО1}}), \quad (14)$$

					Энергоэффективность и энергосбережение	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

$$Q_{\Gamma} = G_{\Gamma} \times c_{\text{пр}} \times (T_{\text{ГВЫХТО2}} - T_{\text{ГВХТО1}}), \quad (15)$$

где Q_{Γ} – массовый расход газа, $Q_{\Gamma} = 9,893 \text{ кг/с}$;

$h_{\text{ГВЫХТО2}}$ – энтальпия газа на выходе из теплообменника подогрева газа,

$$h_{\text{ГВЫХТО2}} \text{ (при } p_{\text{ГВЫХТО2}} = 4 \text{ МПа, } t_{\text{ГВЫХТО2}} = 74 \text{ °С)} = 1280,34 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$h_{\text{ГВХТО1}}$ – энтальпия газа на входе в теплообменник подогрева газа,

$$h_{\text{ГВХТО1}} \text{ (при } p_{\text{ГВХТО1}} = 4 \text{ МПа, } t_{\text{ГВХТО1}} = 5 \text{ °С)} = 1107,73 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$T_{\text{ГВЫХТО2}}$ – температура газа на выходе из теплообменника, $T_{\text{ГВЫХТО2}} = 347,15 \text{ К}$;

$T_{\text{ГВХТО1}}$ – температура газа на входе в теплообменник, $T_{\text{ГВХТО1}} = 278,15 \text{ К}$;

$$c_{\text{пр}} \text{ – удельная теплоёмкость газа, } c_{\text{пр}} = \frac{\Delta h}{\Delta T} = \frac{1280,34 - 1107,73}{347,15 - 278,15} = 2,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}.$$

$$Q_{\Gamma} = 9,893 \times (1280,34 - 1107,73) = 1707,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Gamma} = 9,893 \times 2,5 \times (347,15 - 278,15) = 1706,5 \text{ кВт}.$$

Температуры греющего теплоносителя на входе вычисляется по формулам 16 и 17:

$$T_{\text{ТВХТО4}} = T_{\text{ГВХД2}} + u_1, \quad (16)$$

$$T_{\text{ТВЫХТО5}} = T_{\text{ГВЫХД3}} + u_2, \quad (17)$$

где $T_{\text{ТВХТО4}}$ – температура греющего теплоносителя на входе, °С;

$T_{\text{ГВХД2}}$ – температура, °С;

u_1 – разность температур в теплообменнике между греющей и нагреваемой средами на входе, °С;

$T_{\text{ТВЫХТО5}}$ – температура греющего теплоносителя на выходе, °С;

$T_{\text{ГВЫХД3}}$ – температура, °С;

					Энергоэффективность и энергосбережение	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		60

u_2 - разность температур в теплообменнике между греющей и нагреваемой средами на выходе, °С.

$$T_{\text{ТВХТО4}} = 74 + 10 = 84 \text{ °С},$$

$$T_{\text{ТВЫХТО5}} = 5 + 10 = 15 \text{ °С}.$$

Из уравнений теплового баланса для теплообменника подогрева газа (формула 18), определяется необходимый расход греющего теплоносителя (формула 19):

$$G_{\text{Г}} \times c_{\text{рг}} \times (T_{\text{ГВЫХТО2}} - T_{\text{ГВХТО1}}) \times \eta_{\text{ТО}} = G_{\text{Т}} \times c_{\text{рт}} \times (T_{\text{ТВХТО4}} - T_{\text{ТВЫХТО5}}), \quad (18)$$

$$G_{\text{Т}} = \frac{G_{\text{Г}} \times c_{\text{рг}} \times (T_{\text{ГВЫХТО2}} - T_{\text{ГВХТО1}}) \times \eta_{\text{ТО}}}{c_{\text{рт}} \times (T_{\text{ТВХТО4}} - T_{\text{ТВЫХТО5}})}. \quad (19)$$

где $\eta_{\text{ТО}}$ – КПД теплообменника, $\eta_{\text{ТО}} = 0,95$;

$G_{\text{Т}}$ – расход греющего теплоносителя, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$;

$c_{\text{рт}}$ – удельная изобарная теплоёмкость воды, $c_{\text{рт}} = 4,188 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$.

$$G_{\text{Т}} = \frac{9,893 \times 2,5 \times (347,15 - 278,15) \times 0,95}{4,188 \times (84 - 15)} = 5,61 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Расчёт нормативной продолжительности выполнения работ

Законодательство Российской Федерации определяет инвестиции как денежные средства, технологии, машины, оборудование, и любое другое имущество и имущественные права и интеллектуальные ценности, вкладываемые в объекты предпринимательской и других видов деятельности в целях получения прибыли и достижения положительного социального эффекта.

Как говорилось выше, энергоэффективность – это одна из основных задач, которую решает ПАО «Газпром» с целью экономии топливно-энергетических ресурсов.

В качестве примера оценки эффективности от внедрения одного из метода повышения энергоэффективности выбран объект ЕГС в Кемеровской области – ГРС-1 (выход 3) МГ «Нишневартовск-Парабель-Кузбасс», г. Кемерово.

Техническим мероприятием по повышению энергоэффективности объекта выбран – внедрение ДГА. Это энергетические, утилизационные установки, предназначенные для выработки электроэнергии путём использования энергии избыточного давления природного газа на узлах его редуцирования. При этом учтём, что ТО и Р на ГРС проводится своевременно и в полном объёме, а использование ВИЭ не целесообразно, поскольку продолжительность солнечного сияния меньше 75 дней в год, а общая эффективность ВИЭ оценивается как «низко-средняя».

Современные детандер-генераторные агрегаты поставляются в полном

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					<i>Разработка предложений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции</i>			
Разраб.		Елисеев К.О.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					62	100
Рук-ль ООП		Брусник О.В.				ТПУ гр. 2Б8А		

комплекте и имеют системы автоматического управления и защит, обеспечивающих безопасность эксплуатации установки.

В данном случае реконструкция узла редуцирования выхода 3 ГРС-1, г. Кемерово путём внедрение одноступенчатого ДГА следует рассматривать в качестве инвестиционного проекта, предполагающего осуществление вложения ликвидных активов в настоящее время с расчётом получения определённой выгоды в будущем. Под выгодой подразумевается общий эффект, который является суммой прибыли предприятия от реализации электроэнергии, выработанной ДГА, и иных эффектов, подлежащих фактическому учёту и денежной оценке.

В качестве основного итогового показателя экономической эффективности рассмотрен период окупаемости проекта. Окупаемость – период времени необходимый для возмещения начальных капитальных вложений за счёт получения прибыли от внедрения проекта.

Для оценки окупаемости проекта воспользовались регламентом Р Газпром 2-6.2-600-2011 «Применение турбодетандерных энергетических установок и расчёт их основных параметров», разделом «Оценка эффективности внедрения ДГА на ГРС».

В соответствии с СП 36.13330.2012 прямые нормы на состав работ при реконструкции узла редуцирования на ГРС отсутствуют, поэтому срок выполнения работ определяется на основании опыта реконструкции аналогичных объектов.

Первоначально осуществляются работы по проведению энергетического обследования ГРС, разработке документаций, изготовлению и испытанию ДГА непосредственно на заводе-изготовителе. Продолжительность данных работ занимает большую часть времени и составляет 2,5 месяца.

					<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63

После приступают к первому этапу реконструкции, длительность которого составляет две недели. Заключается в подготовке площадки ГРС к работам, необходимого оборудования, спецтехники и дополнительных материалов, помимо этого осуществляется завоз оборудования на территорию станции.

Второй этап реконструкции заключается в остановке ГРС и установке ДГА. Выполняется в течение одного дня, поскольку проведение работ ограничивает доступ к газу для потребителей.

Третьим этапом является проведение монтажных работ электрооборудования, пусконаладочных работ агрегата и проверку работоспособности установки. Продолжительность три дня.

В таблице 7 представлены нормы времени выполнения технологических операций.

Таблица 7 – Нормы времени выполнения технологических операций

№	Наименование операции	Продолжительность работ, ч	Количество работников в бригаде
Второй этап			
1	Отключение подогревателя газа, приборов учёта	0,5	4
2	Закрытие входного и выходного кранов, закрытие охранного крана, открытие продувочных свечей	0,5	4
3	Вырезка резервной нитки редуцирования (2 реза)	1,5	3
4	Демонтаж резервной нитки	0,5	2
5	Сварка газопровода системы редуцирования, монтаж установки, монтаж кранов, манометров	3	3
6	Сварка трубопровода системы подвода теплоносителя, монтаж задвижек	2	3
Третий этап			
7	Монтаж электрокабелей и электрооборудования (1 комплект)	7	3

8	Подготовка к пуску и пуск ГРС в работу	1	2
9	Пусконаладочные работы	24	4
Итого		32	

Учитывая, что по ТК РФ рабочий день составляет 8 часов, то выходит, четыре дня.

Многие работы при реконструкции выполняются параллельно, следовательно целесообразно использовать линейный график выполнения работ (рисунок 15). Общий период реконструкции составляет почти три месяца.

Наименование работ	Сроки выполнения		Количество дней	Месяц															
	начало	конец (включительно)		февраль			март			апрель									
				1 декада	2 декада	3 декада	1 декада	2 декада	3 декада	1 декада	2 декада	3 декада							
Энергетическое обследование	01.02.2022	25.02.2022	25	■	■	■													
Разработка ТЗ и ТЭО	01.02.2022	25.02.2022	25	■	■	■													
Разработка конструкторской документации	01.02.2022	25.02.2022	25	■	■	■													
Изготовление и испытание установки	26.02.2022	15.03.2022	18				■	■	■	■									
Разработка проекта по внедрению установки на ГРС	05.03.2022	15.03.2022	11				■	■	■										
Получение разрешений	16.03.2022	30.03.2022	14							■	■	■	■						
Подготовка спецтехники, оборудования	31.03.2022	06.04.2022	7										■	■					
Завоз труб, установки и другого оборудования	07.04.2022	13.04.2022	7											■	■				
Подготовка площадки к реконструкции	14.04.2022	20.04.2022	7												■	■			
Демонтаж РД резервной нитки узла редуцирования	21.04.2022	21.04.2022	1															■	
Сварочные работы в процессе монтажа	22.04.2022	22.04.2022	1																■
Монтажные работы по внедрению установки	23.04.2022	23.04.2022	1																■
Монтаж электрооборудования	24.04.2022	26.04.2022	3																■
Пусконаладочные работы	27.04.2022	29.04.2022	3																■

Рисунок 15 – Линейный график выполнения реконструкции ГРС

3.2 Затраты на оплату труда

Перед началом работ, необходимо воспользоваться контрагентными услугами, включающие затраты, связанные с выполнением каких-либо работ сторонними организациями. При реконструкции ГРС необходимо: провести энергетическое обследование, разработка ТЗ и ТЭО, проекта внедрения установки, осуществление пусконаладочных работ. Затраты на вышеперечисленные услуги приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Затраты на контрагентные услуги

№	Наименование услуги	Стоимость, руб. (без учёта НДС)
1	Проведение энергетического обследования	490000
2	Разработка ТЗ и ТЭО	370000
3	Разработка конструкторской документации	304000

4	Изготовление установки	381000
5	Разработка проекта внедрения установки на ГРС	299000
6	Контроль пусконаладочных работ	116000

Расчёт оплаты труда рабочих, проводивших непосредственно реконструкцию ГРС посредством внедрения ДГА. Определяются исходя из численности работников, объёма строительно-монтажных работ и сложившейся структуры рабочих для данного вида работ. В таблице 9 представлен список работников, количество отработанных ими часов и тарифная ставка.

Таблица 9 – Список работников и тарифные ставки

№	Наименование специальности	Количество	Тарифная ставка (руб./час)	Количество часов
1	Начальник участка	1	230	32
2	Оператор ГРС	1	200	32
3	Сварщик	2	175	8
4	Монтажник	4	160	8
5	Электромонтёр	2	135	24
6	Специалист КИПиА	1	190	16

На предприятии действуют система надбавок и доплат к заработной плате (таблица 10).

Таблица 10 – Надбавки и доплаты к заработной плате

Наименование надбавки	Коэффициент
Районный коэффициент	1,3
Доплата за вредность	1,04

Расчёт заработной платы сотрудника производится по формуле 20:

$$ЗП_ч = Т_ч \times РК \times ДВ, \quad (20)$$

где ЗП_ч – заработная плата сотрудника, руб./час;

Т_ч – часовая тарифная ставка, руб./час;

РК – районный коэффициент;

ДВ – доплата за вредность.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Вычислим заработную плату для сварщика:

$$ЗП_{\text{ч}} = 175 \times 1,3 \times 1,04 = 236,6 \frac{\text{руб}}{\text{час}}$$

Количество сварщиков составляет два человека с продолжительностью рабочего времени 8 часов, тогда общая им выплата составит (формула 21):

$$ЗП = ЗП_{\text{ч}} \times T \times n, \quad (21)$$

где ЗП – общая заработная плата для сотрудников одной специальности, руб.;

T – время работы, ч;

n – количество работников данной специальности.

$$ЗП = 236,6 \times 8 \times 2 = 3785,6 \text{ руб.}$$

Расчёт заработной платы всех работников задействованных в реконструкции ГРС и суммарный фонд заработной платы (ФЗП) представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Заработная плата сотрудников

№	Наименование специальности	Количество	Тарифная ставка (руб./час)	Количество часов	Заработная плата, руб.
1	Начальник участка	1	230	32	9950,7
2	Оператор ГРС	1	200	32	8652,8
3	Сварщик	2	175	8	3785,6
4	Монтажник	4	160	8	6922,2
5	Электромонтёр	2	135	24	8761
6	Специалист КИПиА	1	190	16	4110,1
Итого		10	-	-	42182,4

3.3 Отчисления в социальные фонды

В соответствии с Налоговым кодексом Российской Федерации (глава 34) отчисления на страховые взносы осуществляются в размере 30 % от всего ФЗП. На 2022 г. плательщик должен перечислить в фонды проценты по следующим ставкам на обязательное:

- пенсионное страхование – 22 %;
- социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством – 2,9 %;
- медицинское страхование – 5,1 %.

Согласно таблице 10 ФЗП составляет 42182,4 руб. Рассчитаем сумму каждого отчисления.

Отчисления в Пенсионный фонд (формула 22):

$$O_{\text{ПФ}} = Z_{\text{ФЗП}} \times 0,22, \quad (22)$$

где $O_{\text{ПФ}}$ – отчисления в Пенсионный фонд, руб.;

$Z_{\text{ФЗП}}$ – фонд заработной платы за реконструкцию ГРС, руб.

$$O_{\text{ПФ}} = 42182,4 \times 0,22 = 9280,13 \text{ руб.}$$

Отчисления в Фонд социального страхования (ФСС) (формула 23):

$$O_{\text{ФСС}} = Z_{\text{ФЗП}} \times 0,029, \quad (23)$$

где $O_{\text{ФСС}}$ – отчисления в ФСС, руб.;

$$O_{\text{ФСС}} = 42182,4 \times 0,029 = 1223,29 \text{ руб.}$$

Отчисления в Фонд медицинского страхования (ФМС) (формула 24):

$$O_{\text{ФМС}} = Z_{\text{ФЗП}} \times 0,051, \quad (24)$$

где $O_{\text{ФМС}}$ – отчисления в ФМС, руб.;

$$O_{\text{ФМС}} = 42182,4 \times 0,051 = 2151,3 \text{ руб.}$$

					<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		68

Общие отчисления в страховые фонды составили (формула 25):

$$O_{\text{сф}} = Z_{\text{фзп}} \times 0,3, \quad (25)$$

где $O_{\text{сф}}$ – отчисления на, руб.;

$$O_{\text{сф}} = 42182,4 \times 0,3 = 12654,72 \text{ руб.}$$

3.4 Сводная смета затрат

Существуют несколько различных методов расчёта сметной стоимости работ. В данной работе использовался ресурсный метод. Его суть заключается в подсчёте ресурсов в текущих ценах и тарифах.

При составлении смет использовались натуральные измерители расхода материалов, цены на предоставляемые услуги, затраты труда рабочих. Цены принимались текущие (т.е. на момент составления сметы). Преимущество данного метода в том, что позволяет определить сметную стоимость объекта на любой момент времени.

Сводный сметный расчёт затрат на реконструкцию ГРС представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Сводный сметный расчёт затрат на реконструкцию ГРС

№	Состав затрат	Наименование затрат	Стоимость, руб
1	Контрагентные услуги	Проведение энергетического обследования	490000
		Разработка ТЗ и ТЭО	370000
		Разработка конструкторской документации	304000
		Изготовление установки	381000
		Разработка проекта внедрения установки на ГРС	299000
		Контроль пусконаладочных работ	116000
2	Затраты на оплату труда	Начальник участка	9950,7
		Оператор ГРС	8652,8
		Сварщик	3785,6
		Монтажник	6922,2

		Электромонтёр	8761
		Специалист КИПиА	4110,1
3	Отчисления в страховые фонды	Пенсионный фонд	9280,13
		Фонд социального страхования (ФСС)	1223,29
		Фонд медицинского страхования (ФМС)	2151,3
4	Итоговые затрат на контрагентные услуги		1960000
5	Итоговые затраты на оплату труда		42182,4
6	Итоговые затраты на отчисления в страховые фонды		12654,72
Общий итог			2014837,12

Стоимость затрат на выполнение основных работ по реконструкции узла редуцирования газа ГРС-1 (выход 3), г. Кемерово посредством внедрения детандер-генераторного агрегата составит 2014837,12 руб.

Структура затрат при выполнении работ по реконструкции представлена на рисунке 16.



Рисунок 16 – Структура затрат в процентном соотношении

3.5 Оценка эффективности

При внедрении ДГА на ГРС, агрегат выполняет не только роль регулятора давления, но и позволяет вырабатывать электроэнергию. При

расходе газа в $50000 \frac{\text{нм}^3}{\text{ч}}$ на ГРС-1 (выход 3), г. Кемерово ДГА вырабатывает 1180,3 кВт энергии, затраты на топливный газ составляют $12464351 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$.

При продажной цене электроэнергии $3,1 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$ стоимость проданной электроэнергии определяется по формуле 11:

$$C_{\text{ээ}} = 1180,3 \times 7900 \times 3,1 = 28905547 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Прибыль от продажи электроэнергии определяется по формуле 12:

$$\Pi = 28905547 - 12464351 = 16441196 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Таким образом, при стоимости киловатта установленной мощности ДГА, равной ($1000 \frac{\text{долларов}}{\text{кВт}} = 60310 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$), и мощности ДГА, равной 1180,3 кВт, рассчитаем простой срок окупаемости по формуле 13:

$$PBP = \frac{60310 \times 1180,3}{16441196} \approx 52 \text{ месяца} \approx 4,4 \text{ года.}$$

Выводы по разделу

В выпускной квалификационной работе был произведён технико-экономический расчёт, необходимый для учёта затрат на проведение реконструкции узла редуцирования газа, посредством внедрения одноступенчатого детандер-генераторного агрегата на ГРС-1 (выход 3), г. Кемерово.

Расчёт затрат выполнен с использованием натуральных измерителей расхода материалов и услуг, затраты труда рабочих и с учётом текущих актуальных цен и тарифов. Общая стоимость затрат при реконструкции ГРС-1 (выход 3), г. Кемерово составит 2014837,12 руб. Наибольшая часть затрат приходится на контрагентные услуги 1960000 руб.

					<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		71

Также была проведена оценка эффективности внедрения ДГА на ГРС. При учёте затрат на выработку электроэнергии ($12464351 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$) и при продажной стоимости электроэнергии $3,1 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}\times\text{ч}}$, прибыль составляет $16441196 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$. Простой срок окупаемости данного проекта составил 4,4 года.

					<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		72

4 Социальная ответственность

4.1 Правовые и организационные вопросы безопасности

Продолжительность ежедневной работы (смены) определяется с учётом характера и специфики производства, а также условий труда, согласно ТК РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).

ГРС обслуживается и вахтовым, и постоянным методом. При вахтовом методе продолжительность смены составляет 12 часов в сутки, при постоянном – при 5-ти дневной рабочей неделе 8 часов в сутки. В районах Крайнего Севера устанавливается пониженная норма часов в год: 1728 часов для женщин, 1920 часов для мужчин.

Всем сотрудникам предоставляются ежегодные оплачиваемые отпуска (28 календарных дней) с сохранением рабочего места и заработной платы.

Оплата труда работников ГРС устанавливается в повышенном размере, в связи с вредностью и опасными условиями труда.

Так за вредность доплачивается от 4 до 8 % от ставки.

При работе в районах Крайнего Севера учитываются районные коэффициенты и процентные надбавки к заработной плате.

Работникам ПАО «Газпром» районный коэффициент к заработной плате устанавливается в следующих размерах:

- на объектах, расположенных южнее Полярного круга – 1,7;
- на объектах, расположенных севернее Полярного круга – 1,8.

Всем сотрудникам компании предоставляются льготы и компенсации:

					<i>Разработка решений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Елисеев К.О.			Социальная ответственность	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Шадрина А.В.					73	100
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.				ТПУ гр. 2Б8А		

- ежегодная компенсация стоимости выделенных санаторно-курортных, туристических и других путёвок;
- доплата сверх размера пособия по временной нетрудоспособности;
- выплата единовременного пособия работникам, увольняющимся по любым основаниям по достижении возраста, дающего право на пенсию по старости.

Согласно СТО Газпром 18000.1-001-2014 и Коллективному договору Общества компания ПАО «Газпром» обязуется обеспечивать здоровые и безопасные условия труда на основе комплекса социально-трудовых, организационно-технических, санитарно-гигиенических, лечебно-профилактических, реабилитационных и иных мероприятий в соответствии с государственными нормативными требованиями охраны труда и промышленной безопасности; принимать меры по устранению выявленных отклонений от гигиенических норм и требований охраны труда.

Для наиболее безопасного и эффективного ведения работ рабочее место должно быть правильно организовано. Это касается как предметов на рабочем столе, так и расстановки оборудования на территории ГРС.

При проектировании учитывается рельеф, грунт, климатические условия, рациональное размещение зданий и сооружений станции и др. Это необходимо для обеспечения благоприятных условий естественного освещения, минимизации последствий снежных заносов и т.д.

4.2 Производственная безопасность

Согласно ФЗ № 116 от 21.07.1997 г. ГРС является опасным производственным объектом, а процесс её эксплуатации представляет опасность как для жизни и здоровья эксплуатирующего персонала, третьих лиц, так и для окружающей среды, а также возможность возникновения ЧС.

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

Вредными и опасными производственными факторами на ГРС являются: избыточное давление в оборудовании и газопроводах, взрывоопасность и пожароопасность при утечке или разрушении трубопровода/оборудования, движущиеся машины, механизмы и транспортные средства, повышенная и пониженная температура оборудования, токсичность природного газа, метанола и одоранта, повышенный уровень статического электричества и др.

Эксплуатация технологического оборудования, машин и агрегатов, в которых используются, хранятся, транспортируются опасные вещества на ГРС (природный газ, одорант, метанол) являются наиболее опасными техническими устройствами.

Основными видами работ на ГРС во время эксплуатации, ТО и Р являются: слесарные, сварочные и электромонтажные.

Таблица 13 – Возможные вредные и опасные производственные факторы на ГРС

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Вредные факторы	
Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-2014 [40] СП 51.13330.2011 [41]
Недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 [42] ГОСТ Р 55710-2013 [44]
Повышенный уровень локальной вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004 [45] СанПиН 1.2.3685-21 [43]
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	ГОСТ 12.4.011-89 [46] Р 2.2.2006-05 [47] СанПиН 1.2.3685-21 [43]
Опасные факторы	
Избыточное давление в оборудовании и газопроводах	Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 года № 536 [48]
Взрывоопасность и пожароопасность	ГОСТ 12.1.004-91 [49] ГОСТ 12.1.005-88 [50] Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 года № 531 [51]
Производственные факторы воздействия газовых компонентов (включая пары), загрязняющих чистый природный воздух примесей, на организм работающего зависят от их содержания (концентрации) и токсичности	СанПиН 1.2.3685-21 [43] ГОСТ 12.1.005-88 [50]

Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека	СанПиН 1.2.3685-21 [43]
Производственные факторы, связанные с электрическим током	Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 года № 531 [51] ГОСТ 12.4.124-83 [52] ГОСТ 12.1.019-2017 [53]

4.2.1 Анализ вредных факторов

Вредным производственным фактором называется фактор трудового процесса или среды, воздействие которого при определённых условиях на работника может вызвать профессиональное заболевание, снизить работоспособность или усугубить уже имеющиеся заболевания.

Повышенный уровень шума

Основными источниками шума при эксплуатации и обслуживании на ГРС являются газопроводы, насосы, вентиляторы, запорная и регулирующая арматура.

Шум неблагоприятно воздействует на работников: снижает внимание, увеличивается расход энергии при одних и тех же физических нагрузках. Допустимые уровни звукового давления приведены в таблице 14 [41].

Таблица 14 – Допустимые уровни звукового давления (СП 51.13330.2011)

Рабочие места	Уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звукового давления, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

При организации работ, связанных с шумом, принимаются меры по снижению уровня шума в источнике его возникновения и на пути распространения:

- применение звукоизолирующих материалов, кожухов;
- расположение шумного оборудования в отдельных цехах/блоках со стенами из звукоизолирующих материалов;
- внедрение дистанционного управления технологическими процессами;
- использованием средств индивидуальной защиты (противошумные наушники, каски и костюмы и т.д.).

Недостаток необходимого искусственного освещения

Освещение – это использование световой энергии Солнца и искусственных источников света для обеспечения зрительного восприятия окружающего мира.

Для создания гигиенически рациональных условий освещения на производстве к нему предъявляются определённые требования: равномерное распределение яркостей в поле зрения, ограничение (отсутствие теней), отсутствие пульсации светового потока и т.д.

Необходимые условия достигаются путём использования естественного и искусственного освещения. Естественное освещение в производственных помещениях ГРС обеспечивается наличием необходимого количества окон, однако это осуществимо только в дневное время суток. Для поддержания освещённости в пределах норм в тёмное время суток применяются светильники во взрывозащищённом исполнении. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается. Излишнее или недостаточное освещение негативно сказывается на здоровье персонала:

- приводит к быстрому утомлению;
- снижается работоспособность;
- появляется чувство раздражительности;
- появляется сухость и дискомфорт глаз;
- развивается близорукость, дальновзоркость.

Согласно СП 52.13330.2016:

- минимальная освещённость при работе на компьютере составляет 300 лк.;
- освещённость рабочего стола должна быть не менее 300-500 лк., что можно достичь установкой местного освещения;
- местное освещение не должно создавать бликов на экране.

При отключении основного освещения должно быть использовано аварийное освещение для продолжения работы (используются дополнительные источники энергии), эвакуационное освещение, сигнальное освещение для фиксации границ опасных зон, охранное освещение для указания границ охраняемой территории ГРС.

Повышенный уровень локальной вибрации

Причиной вибрации являются возникающие при работе насосов и агрегатов неуравновешенные силовые воздействия. Их источниками служат возвратно-поступательные движущиеся системы, неуравновешенные вращающиеся массы (теплообменник, сепаратор, циклонные пылеуловители), ударные процессы.

Подобное оборудование располагается не во всех цехах, поэтому на рабочих может воздействовать локальная вибрация. Однако и данный фактор при длительном и постоянном воздействии на человека приводит к различным нарушениям здоровья человека, а в конечном счёте, к «вибрационной болезни».

Параметры общей и локальной вибрации регламентируются ГОСТ 12.1.012-90 и СанПиН 1.2.3685-21. Для защиты от вибрации следует применять СИЗ, согласно ГОСТ 12.4.002-97 «Средства индивидуальной защиты рук от вибрации» и ГОСТ 12.4.024-76 «Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования».

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

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

При эксплуатации и обслуживании ГРС как на открытом воздухе, так и в помещении на рабочих воздействуют абиотические факторы (температура, влажность, атмосферное давление, осадки и др.). Эти факторы влияют на здоровье человека, в зависимости от степени изменения и особенностей организма людей. Например, при изменении атмосферного давления на 30 мм. рт. ст. один человек может находиться в хорошем физическом состоянии, другой – испытывает головные боли, а третьи и вовсе чувствует головокружение и тошноту.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 под микроклиматом производственных помещений понимается метеорологические условия внутри помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения. В таблице 15 представлены оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости воздуха в рабочей зоне производственных помещений [43].

Таблица 15 – Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости воздуха в рабочей зоне производственных помещений согласно (СанПиН 1.2.3685-21)

Период года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность оптимальная, %	Скорость движения воздуха оптимальная, м/с
холодный	средней тяжести	17-19	40-60	0,2
тёплый	средней тяжести	20-22	40-60	0,3

При проведении работ на открытом воздухе правила безопасности предусматривают мероприятия по защите персонала от неблагоприятных климатических условий: оснащение средствами индивидуальной защиты

(специальная одежда и обувь); обустройство рабочего места тентом, козырьками, отопительными приборами.

4.2.2 Анализ опасных факторов

Опасный производственный фактор – это фактор способный стать причиной острого заболевания, резкого ухудшения здоровья или летального исхода.

Избыточное давление в оборудовании и газопроводах

Практически все трубопроводы, сосуды и ёмкости на ГРС находятся под избыточным давлением. Их основная опасность заключается в возможности их частичного или полного разрушения под действием давления рабочей среды (физический взрыв). При таком взрыве энергия сжатой среды в доли секунд переходит в кинетическую энергию осколков разрушенного газопровода или сосуда и воздушную ударную волну. Разлетаясь в разные стороны, осколки могут повредить другое оборудование, что может вызвать пожар, взрыв или привести к ранению или гибели рабочих. Помимо этого, из разрушенных газопроводов и сосудов в воздух попадают опасные вещества (природный газ, одорант, метанол), являясь ядами и легковоспламеняющимися веществами, в лучшем случае могут стать причиной отравления, потери сознания, а в худшем привести к пожару, взрыву и гибели людей.

Во избежания разрушения трубопровода, он подвергается диагностированию и неразрушающему контролю во время эксплуатации до выработки им назначенного ресурса, согласно руководящим документам ПАО «Газпром». В случае аварии трубопровод должен быть немедленно остановлен и отключен действием защит от общей системы, а информация об инциденте передана дежурному диспетчеру.

Манометр является основным оборудованием, позволяющее оценить величину давления в трубопроводе и сосуде. Неисправными считаются

					Социальная ответственность	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		80

манометры, имеющие: подтёки под стеклом, треснутое стекло, отсутствие поверочного клейма и/или пломбы и др. Проверка их исправности проводится в следующие сроки:

- для трубопроводов с рабочим давлением до 1,4 МПа включительно – не реже одного раза в смену;
- для трубопроводов с рабочим давлением свыше 1,4 до 4,0 МПа включительно – не реже одного раза в сутки;
- для трубопроводов с рабочим давлением свыше 4,0 МПа – в сроки, установленные инструкцией [48].

Взрывоопасность и пожароопасность

На ГРС эксплуатируются газопроводы с рабочим давлением от 10 до 1,2 МПа, электроустановки и электрооборудование с напряжением 220 и 380 В.

Согласно СП 12.13130.2009 ГРС относится к помещениям категории А «повышенная взрывопожароопасность».

Основными источниками пожара и взрыва считаются:

- нарушение герметичности оборудования (фланцевых соединений, дефекты материалов, коррозия, окончание срока службы уплотнений запорной арматуры и оборудования и др.);
- проведение газоопасных работ, связанных со сбросом давления в системе;
- короткое замыкание, электрические искры и дуги, способные вызвать загорание горючих материалов.

Персонал строго следит за показателями НКПВ и ВКПВ на территории ГРС с помощью газоанализаторов, поскольку при проведении ремонтных работ, возможен выброс газа. Природный газ с воздухом образуют взрывчатую смесь.

					Социальная ответственность	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		81

Нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ) – это концентрация горючего вещества в воздухе, ниже которой воспламенение смеси невозможно. Если имеются условия для взрыва, концентрация называется нижним пределом взрываемости.

Верхний концентрационный предел воспламенения – это концентрация горючего вещества в воздухе, выше которой воспламенение смеси невозможно.

В таблице 16 представлены характеристики взрывопожароопасных веществ, которые могут попасть в воздух рабочей зоны ГРС [54].

Таблица 16 – Характеристика взрывопожароопасных веществ, появление которых возможно в воздухе рабочей зоны ГРС [54].

Вещество	Температура воспламенения, °С	Предел взрываемости (объемные проценты газа в газозоудушной смеси)	
		нижний, %	верхний, %
Метан	650	5	15
Этан	510	3	12,4
Пропан	500	2,1	9,5
Бутан	429	1,8	8,4
Метанол	440	6,7	36
Этилмеркаптан	299	-	-

Методы снижения взрывопожароопасности на ГРС:

- соблюдение технологического режима работы;
- своевременное проведение ТО и Р всего оборудования;
- вентиляция помещений;
- применение средств индивидуальной защиты (специальной одежды, прошитой антистатической ниткой; использование индивидуальных газоанализаторов-сигнализаторов);
- использование инструментов и оборудования в искробезопасном исполнении;
- проведение инструктажей по пожарной безопасности;

- соблюдение требований, предписанных нормативными документами.

Производственные факторы воздействия газовых компонентов (включая пары), загрязняющих чистый природный воздух

При эксплуатации и проведении ремонтных работ в воздушное пространство рабочей зоны ГРС могут попасть опасные вещества (природный газ, газовый конденсат, метанол и одорант).

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 лёгкие углеводороды по степени воздействия на организм человека относятся к четвёртому классу опасности. При содержании природного газа выше предельно допустимой концентрации (ПДК) в воздухе, может вызвать головокружение, тошноту.

Одорант (этилмеркаптан) по степени воздействия на организм человека относятся ко второму классу опасности. В зависимости от концентрации паров может стать причиной головной боли и тошноты, а также обладает наркотическим эффектом, характеризующимся особой мышечной скованностью.

Показания ПДК на территории ГРС контролируются с помощью датчиков газоанализаторов. В таблице 17, согласно ГОСТ 12.1.005-88, представлены ПДК веществ, применяющихся на станции [50].

Таблица 17 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны на ГРС [50].

Название	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Метан	7000	IV
Этан	300	IV
Пропан	500	IV
Бутан	200	IV
Метанол	5	III
Сероводород в смеси с углеводородами	3	II
Этилмеркаптан	1	II

Меры по снижению воздействия чрезмерного загрязнения воздушной среды на работников:

- заблаговременное опорожнение и отключение трубопроводов, сосудов и емкостей перед началом профилактических и ремонтных работ;
- проветривание помещения с помощью вентиляции;
- при проведении газоопасных работ использовать шланговые противогазы ПШ-1 и ПШ-2;
- постоянный контроль воздушной среды до момента окончания проведения ремонтных и профилактических работ.

Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека

На ГРС эксплуатируются теплообменные аппараты. Так теплообменники применяются для подогрева газа, температура их может достигать 90-120 °С.

По неосторожности есть риск прикосновения рабочим к данным аппаратам, что может стать причиной ожогов кожных покровов первой и второй степени.

Для недопущения подобных инцидентов:

- на каждом теплообменном аппарате должна присутствовать информационные таблички;
- рабочие обязаны использовать СИЗ (специальный костюм и сапоги, защитные очки, перчатки).

Производственные факторы, связанные с электрическим током

Опасность поражения электрическим током присутствует на ГРС всегда. Согласно «ПУЭ Седьмое издание» ГРС относится к помещениям 3 категории

					Социальная ответственность	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		84

– «особо опасные», поскольку есть: помещения с высокой температурой, возможность прикоснуться к оборудованию с одной стороны и металлическими частями электрооборудования с другой.

Согласно Приказу Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года № 903н об утверждении «Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» операторы ГРС должны иметь группу по электробезопасности не ниже II.

Электрооборудование и электроустановки должны отвечать установленным требованиям. Все приборы и щиты управления должны быть в исправном состоянии и заземлены, иметь надписи с указанием определяемых параметров и их предельных значений [54, 55].

Причинами поражения электрическим током могут стать:

- несоблюдение техники безопасности персоналом;
- прикосновение к объектам под напряжением без должной необходимости;
- нарушение целостности изоляции электрооборудования и электроустановок;
- погодные явления (молнии).

Степень травм, получаемы от воздействия электрического тока зависит от: физического состояния человека, влажности в помещении. Наиболее типичными последствиями для человека в результате воздействия тока являются:

- термические ожоги;
- потеря сознания;
- трещины, переломы костей;
- нарушение сердечного ритма и угнетение дыхательной деятельности;

- остановка сердечной деятельности и парализация дыхания.

Принимаются следующие меры защиты от воздействия электрического тока:

- проверка состояния изоляции проводов и заземления электроустановок;
- использование предупредительных плакатов и знаков;
- установка молниеотводов;
- использованием средств индивидуальной защиты;
- проведение инструктажей и обучения по безопасным работам с электроприборами.

4.3 Экологическая безопасность

Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 года № 2398 ГРС относится к объектам II категории, поскольку осуществляется транспортировка природного газа.

4.3.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу

Загрязнение атмосферы происходит путём попадания выбросов природного газа, паров одоранта и метанола, причинами которых чаще всего являются: износ уплотнений; повышение давления в системе, что приводит к срабатыванию предохранительных клапанов; нарушения в работе оборудования. Помимо этого, проводятся плановые выбросы вредных веществ при стравливании газа из системы и технологического оборудования станции при проведении ТО и Р. Таким образом, в атмосферу могут попасть такие вещества как: лёгкие углеводороды (метан, этан, пропан, бутан), относящиеся к четвёртому классу опасности, пары одоранта (соединения серы) (этилмеркаптан, метилмеркаптан), относящиеся ко второму классу опасности, согласно ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей среды».

Применяются следующие меры по защите атмосферы;

					Социальная ответственность	<i>Лист</i>
						86
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- плановое проведение ТО и Р, согласно стандартам организации, для проверки оборудования на герметичность и своевременной замены уплотнений;
- неукоснительное соблюдение технологических режимов работы станции;
- использование системы контроля загазованности рабочей зоны.

4.3.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу

При эксплуатации ГРС загрязняющие и опасные вещества, такие как: метанол, моторные масла, одорант, могут попасть в сточные воды, что принесёт вред гидросфере. Причиной этого могут служить ремонтные работы; несвоевременное проведение ТО и Р, что приводит к износу уплотнений оборудования, запорной и регулирующей арматуры, сосудов; неправильная утилизация опасных производственных веществ, аварии.

Для защиты гидросферы необходимо соблюдать требования:

- нивелирование рисков появления источников утечки вредных веществ, путём: соблюдения правил эксплуатации, проведения ТО и Р согласно плану-графику организации, применение противокоррозионной защиты;
- правильный сбор и утилизация бытовых и производственных отходов с дальнейшей транспортировкой до мест переработки.

4.3.3 Анализ воздействия объекта на литосферу

При осуществлении любых процессов деятельности на территории ГРС на литосферу оказывается негативное воздействие, связанное с образованием бытовых и производственных отходов. Задача персонала состоит в сведении к минимуму возможных последствий этого воздействия.

Могут применяться следующие мероприятия по уменьшению негативного влияния на литосферу:

					Социальная ответственность	<i>Лист</i>
						87
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- все отходы подлежат селективному сбору, временному хранению на специальных площадках, нормативов образования и лимитов размещения отходов в соответствии с регламентами и стандартами организации, а также передаче на утилизацию специализированным организациям;
- своевременное проведение ТО и Р;
- соблюдение технологических режимов станции.

4.3.4 Анализ воздействия объекта на селитебную зону

ГРС является ОПО, соответственно для обеспечения безопасности и защиты населения, нивелирования риска проникновения на объект, станции располагаются на регламентируемом расстоянии от жилых зон согласно СП 36.13330.2012 «Магистральные трубопроводы».

Также, согласно Постановлению правительства РФ от 20 ноября 2000 г. № 878 «Об утверждении Правил охраны газораспределительных сетей» применяются следующие меры:

- ГРС располагается максимально удалённо от жилых зон, но с учётом рационального удаления;
- вокруг станции организуется санитарно-защитная зона шириной 100 м;
- территория ГРС огораживается по периметру и устанавливаются предупреждающие, запрещающие и информационные знаки;
- на объекте применяется видеонаблюдение и охранная сигнализация.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайной ситуацией называется совокупность условий и обстоятельств на определённой территории в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде,

					Социальная ответственность	<i>Лист</i>
						88
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

ЧС на опасных производственных объектах могут быть: природного, экологического или техногенного характера.

Наиболее возможные ЧС на ГРС – это пожар и взрыв. Основными причинами возникновения данных инцидентов являются: технические (износ оборудования или отдельных узлов, разрушение/разгерметизация газопровода и образование взрывоопасных и пожароопасных газовоздушных смесей (воздух, метан, этан, пропан и др.), отказ электронных средств и сбой в работе системы пожаротушения, нарушения при проектировании, строительстве, монтаже и эксплуатации объекта и др.) и техногенные (человеческий фактор).

Взрыв – это быстропротекающий физико-химический процесс превращения веществ, сопровождающийся освобождением большого количества энергии и образованием сжатых газов, в результате которого в окружающем пространстве образуется и распространяется ударная волна, способная создать угрозу жизни и здоровья персоналу и третьим лицам, нанести ущерб объектам и стать источником ЧС.

Пожаром называется неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью людей.

Для нивелирования риска возникновения пожара на ГРС и повышения безопасности объекта, могут быть приняты следующие меры:

- выполнение требований пожарной безопасности в полном объёме, установленных техническими регламентами в соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- исполнение рабочим персоналом в полном объёме правил и мер ВРД 39-1.10-069-2002 и стандартов организации ПАО «Газпром» и других нормативно-правовых документов;

					Социальная ответственность	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		89

- организация своевременного ТО и Р;
- использование современных приборов контроля и сигнализации от завода изготовителя с паспортом на оборудование;
- проведение повторных, внеплановых и целевых инструктажей с рабочим персоналом;
- организация медицинских осмотров для персонала;
- соблюдение правил и требований работы с оборудованием согласно технологическим режимам работы объекта.

Для всех ГРС разрабатывается индивидуальный план по ликвидации всех возможных аварий (план, карты), который пересматривается и в случае необходимости дорабатывается раз в год. Действия персонала по ликвидации ЧС, следующие:

- обнаружение аварии и уведомление диспетчера ЛПУМГ;
- принятие мер для оперативной ликвидации и локализации аварии в начальной стадии;
- при невозможности ликвидации инцидента собственными силами операторами ГРС перекрываются охранные краны для прекращения подачи газа;
- сообщить в местные службы ГО и ЧС;
- при возникновении угрозы жизни провести эвакуацию в безопасную зону.

Согласно Федеральному закону от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. От 30.04.2021) на ГРС более вероятен пожар класса С «пожар газов».

Все станции оборудованы первичными средствами пожаротушения, а именно: переносными и передвижными огнетушителями; пожарными кранами и средствами обеспечения их использования; пожарным инвентарём; покрывалами для изоляции очага возгорания.

					Социальная ответственность	<i>Лист</i>
						90
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Для предотвращения ЧС социального характера территория ГРС находится под видеонаблюдением, оборудуется сигнализацией и весь периметр объекта огораживается, также возможна установка контрольно-пропускного пункта. Персонал станции проходит инструктажи по правилам поведения и противодействия в подобных ситуациях. С определённой периодичностью проводятся комплексные учения с привлечением сотрудников корпоративной защиты предприятия, МЧС и полиции.

Для минимизации последствий от ЧС природного и экологического характеров принимаются превентивные меры на стадии проектирования ГРС. Подробно изучаются география, рельеф и тектоника региона, погодные условия. Для защиты от попадания молнии устанавливаются громоотводы, для защиты от распространения огня и разлива опасных веществ на внутренней территории ГРС вспахивается полоса земли и удаляется растительность и выкашивается трава.

Выводы по разделу

Социальная ответственность имеет особую важность во всех типах работ, проводимых на магистральном газопроводе. Это связано с тем, что реконструкция ГРС отличается повышенным уровнем аварийности и травматизма, а также экологической нагрузкой на окружающую среду. Поэтому задачей социальной ответственности служит снижение негативного воздействия вредных и опасных производственных факторов на человека, обеспечение охраны труда и экологии, для чего и был проведен анализ условий производственной деятельности и изучены методы защиты воздействий на экологию.

Соблюдение условий помогут на производстве избежать негативного воздействия на человека и окружающую среду.

					Социальная ответственность	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		91

Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы получены следующие результаты:

1. Газораспределительная станция является одним из основных объектов единой газотранспортной системы. Функционал объекта широк: на станции проводится подготовка, редуцирование, одоризация и коммерческий учёт природного газа, подаваемого потребителю;
2. Изучена нормативно-техническая документация по проектированию, эксплуатации и обслуживанию газораспределительных станций. Объектами эксплуатации являются территория, здания и сооружения станции;
3. На основании литературного обзора, рассмотрена классификация газораспределительных станций, изучена типовая технологическая схема объекта. Рассмотрено типовое оборудование узлов редуцирования (регуляторы давления) и учёта газа (счётчики газа).
4. Проанализировав направления повышения энергоэффективности, были выявлены два основных пути реализации – посредством мероприятий организационно-управленческого и технического характера. Изучены регламенты ПАО «Газпром» в области энергосбережения, рассмотрены такие варианты по повышению энергоэффективности газораспределительной станции, как: внедрение турбодетандеров, мероприятия по своевременному проведению технического обслуживания и ремонта, применение возобновляемых источников энергии.
5. Для подтверждения эффективности рассмотренных в работе мероприятий и технологий по повышению энергоэффективности для

					<i>Разработка решений по повышению энергоэффективности газораспределительной станции</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Елисеев К.О.			Заключение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Шадрина А.В.					92	100
<i>Рук-ль ООП</i>		Брусник О.В.				ТПУ гр. 2Б8А		

ГРС-1, г. Кемерово (выход 3). Оптимальным технологическим решением является внедрение в узел редуцирования одноступенчатого ДГА. Так при расходе газа в $50000 \frac{\text{нм}^3}{\text{ч}}$, энергетическая мощность агрегата равна 1180,3 кВт, годовая выработка электроэнергии – $9,32 \frac{\text{МВт} \times \text{ч}}{\text{год}}$, затраты на топливный газ (для подогрева газа перед входом в ДГА) составляют $12464351 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$. При продажной цене электроэнергии $3,1 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \times \text{ч}}$, прибыль равна $16441196 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$. Таким образом при стоимости киловатта установленной мощности ДГА в $60230 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$, простой срок окупаемости проекта составит меньше 4,5 лет.

					Заключение	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		

- 10.СТО Газпром 2-3.5-051-2006 «Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов».
- 11.СТО Газпром 2-2.3-1122-2017 «Газораспределительные станции. Правила эксплуатации».
- 12.ВРД 39-1.8-022-2001 «Номенклатурный перечень газораспределительных станций магистральных газопроводов».
- 13.ВРД 39-1.10-069-2002 «Положение по технической эксплуатации газораспределительных станций магистральных газопроводов».
- 14.Газораспределительная станция: состав и назначение // «TURBINIST.RU» URL: <https://www.turbinist.ru/151-gazoraspredelitel'naya-stanciya-sostav-i.html> (дата обращения: 25.03.2022).
- 15.Назначение, устройство, классификация регуляторов давления газа // «Газовик» промышленное газовое оборудование URL: <https://gazovik-gaz.ru/spravochnik/reg/class.html> (дата обращения: 20.03.2022).
- 16.Регуляторы давления газа для магистральных газопроводов // «Старорусприбор» URL: http://www.staroruspribor.ru/catalog/regulators_gas_pipeline/ (дата обращения: 30.03.2022).
- 17.Линейно-осевой регулятор давления газа «ЛОРД» и модуль спаренных регуляторов давления «ЛОРД» // «Авиагаз-союз+» URL: <https://agrs.ru/products/gas/regulatory-davleniya-gaza-lord-lord-vd-i-moduli-sparenyh-regulyatorov-davleniya> (дата обращения: 01.04.2022).
- 18.Регуляторы давления газа 149-BV // «Газпроммаш» URL: http://www.gazprommash.ru/production/catalog/pressure_regulator/149-BV/ (дата обращения: 02.04.2022).
- 19.«Многониточный измерительный микропроцессорный комплекс» GiperFlo-ЗПМ», Техническое описание и инструкция по эксплуатации. СП «Совтексавтоматика». М, 1995 г.
- 20.Вихревые расходомеры // Fluid-Line URL: <https://fluid-line.ru/vixrevyie-rasxodomeryi> (дата обращения: 03.04.2022).

					Список используемых источников	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		95

21. Турбинный счётчик газа TRZ 03 // RMG URL: <https://www.rmg-rus.ru/produkty/rashodomery-gaza/rmg/turbinnij-schetchnik-gaza-trz03/> (дата обращения: 03.04.2022).
22. Расходомер-счётчик газа ультразвуковой УЗР-ИГМ878 // ООО «Промучет» URL: <http://www.promuchet.ru/produkcziya/uzrrashodomeryi-schetchiki-gaza-ultrazvukovye> (дата обращения: 03.04.2022).
23. Ультразвуковые газовые счётчики: принцип работы, популярные модели, плюсы и минусы // Oschetchike URL: <https://oschetchike.ru/gaza/ultrazvukovoj> (дата обращения: 03.04.2022).
24. Кориолисовые расходомеры // ПромЭлектроАвтоматика URL: <https://www.pea.ru/docs/fileadmin/files/emerson/rashodomery/Koriolisovye.pdf> (дата обращения: 04.04.2022).
25. Что такое кориолисовый расходомер // oSensorax.ru URL: <https://osensorax.ru/rashod-uroven/koriolisovyj-rashodomer> (дата обращения: 04.04.2022).
26. Детандеры и турбодетандеры // LNGas.ru URL: <https://lngas.ru/lng-equipment/detandery-turbodetandery.html> (дата обращения: 08.04.2022).
27. Холодильные машины и установки: Учеб. пособие / П.И. Дячек. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – с. 10.
28. Общие сведения и классификация детандеров. Область применения // Генератор URL: <https://generator-prosto.ru/s-nulya/turbodetander-princip-dejstviya.html> (дата обращения: 08.04.2022).
29. Турбодетандерный агрегат // Neftegaz.RU URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/neftegazopromysel/552815-turbodetandernyy-agregat/> (дата обращения: 08.04.2022).
30. Яценко И.А., Хворов Г.А., Юмашев М.В., Юров Е.В. Реализация потенциала энергосбережения и повышение энергетической эффективности ПАО «Газпром» на основе применения турбодетандерных технологий // Газовая промышленность. - 2017. - №1. - С. 60-63.

					Список используемых источников	<i>Лист</i>
						96
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

31. Клименко А.П. Разделение природных углеводородных газов / А.П. Клименко. – Киев: Техника, 1964. – 380 с.
32. Куличихин В.В. Использование избыточного давления природного газа на промышленных предприятиях / В.В. Куличихин, О.О. Лазарева // Надежность и безопасность энергетики. – 2010. – № 9.– С. 48–54.
33. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ.
34. Организация технического обслуживания и ремонта оборудования: учеб. пособие / Е. М. Москалёва. – Ухта: УГТУ. 2010. – с. 3-9.
35. Тухбатуллин Ф.Г., Семейченков Д.С. Сокращение потерь природного газа в системе газораспределения за счёт применения балансовых карт // Территория Нефтегаз. - 2018. - №1. - С. 12-19.
36. Бессель В.В., Беляев А.А., Зверев А.М. Энергосбережение в магистральном транспорте газа за счёт использования возобновляемых источников энергии // Территория Нефтегаз. - 2013. - № 9 - С. 84-93.
37. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – с. 3-13, 14-22, 27-34.
38. КПД солнечных батарей – обзор самых эффективных модулей // «Energo.house» URL: <https://energo.house/sol/kpd-solnechnyh-batarej.html> (дата обращения: 02.05.2022).
39. Возобновляемые источники энергии в энергетике газовой отрасли // АО «НИПОМ» URL: <https://nipom.ru/blog/news/massmedia/vozobnovlyayemyye-istochniki-energii-v-energetike-gazovoy-otrasli-2/> (дата обращения: 02.05.2022).
40. ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие технические требования».
41. СП 51.13330.2011 «Защита от шума».
42. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

					Список используемых источников	<i>Лист</i>
						97
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

43. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
44. ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».
45. ГОСТ 12.1.012-2004 «Вибрационная безопасность. Общие требования».
46. ГОСТ 12.4.011.-89 «Средства защиты рабочих. Общие требования и классификация».
47. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».
48. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 года № 536 об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением».
49. ГОС 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования».
50. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
51. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 года № 531 об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления».
52. ГОСТ 12.4.124-83 «Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования».
53. ГОСТ 12.1.019-2017 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
54. ГОСТ 31610.20-1-2020 (ISO/IEC 80079-20-1:2017) «Взрывоопасные среды. Часть 20-1. Характеристики веществ для классификации газа и пара. Методы испытаний и данные».

					Список используемых источников	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		98

55.Р Газпром 2-6.2-600-2011 «Применение турбодетандерных энергетических установок и расчёт их основных параметров»/

56.Тарифы РЭК Кузбасса // Региональная Энергетическая Комиссия Кузбасса URL:

http://www.recko.ru/?p=documents&t=postanovlen&id_doc=2022 (дата

обращения: 30.05.2022).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					99

Приложение А

Приложение А – Теплофизические свойства метана

Таблица А.1 – Энтальпия метана

в кДж/кг

°C	1 ата	1,5 ата	2 ата	3 ата	4 ата	5 ата	10 ата	15 ата	20 ата	25 ата	30 ата	40 ата	50 ата	60 ата	70 ата	80 ата
-20	1097,67	1097,03	1096,39	1095,11	1093,82	1092,53	1085,98	1079,30	1072,48	1065,52	1058,40	1043,70	1028,38	1012,45	996,00	979,17
-10	1119,24	1118,64	1118,04	1116,85	1115,65	1114,44	1108,35	1102,16	1095,87	1089,47	1082,97	1069,64	1055,88	1041,74	1027,27	1012,60
0	1140,96	1140,41	1139,85	1138,72	1137,60	1136,47	1130,79	1125,04	1119,21	1113,30	1107,32	1095,13	1082,66	1069,93	1057,02	1044,01
10	1162,87	1162,34	1161,82	1160,77	1159,71	1158,66	1153,35	1147,98	1142,56	1137,08	1131,55	1120,34	1108,94	1097,38	1085,72	1074,01
20	1184,97	1184,48	1183,98	1182,99	1182,01	1181,01	1176,04	1171,02	1165,96	1160,86	1155,73	1145,36	1134,88	1124,30	1113,67	1103,05
30	1207,29	1206,82	1206,36	1205,43	1204,50	1203,57	1198,89	1194,19	1189,45	1184,70	1179,92	1170,29	1160,59	1150,86	1141,11	1131,39
40	1229,84	1229,40	1228,96	1228,09	1227,21	1226,33	1221,93	1217,51	1213,08	1208,63	1204,16	1195,19	1186,19	1177,17	1168,18	1159,23
50	1252,64	1252,23	1251,81	1250,99	1250,16	1249,33	1245,19	1241,03	1236,86	1232,68	1228,50	1220,12	1211,73	1203,35	1195,01	1186,74
60	1275,71	1275,32	1274,93	1274,15	1273,37	1272,58	1268,67	1264,75	1260,83	1256,90	1252,97	1245,12	1237,28	1229,47	1221,71	1214,02
70	1299,06	1298,69	1298,32	1297,58	1296,84	1296,10	1292,40	1288,70	1285,00	1281,31	1277,61	1270,24	1262,89	1255,59	1248,34	1241,17
80	1322,70	1322,35	1322,00	1321,30	1320,60	1319,90	1316,40	1312,90	1309,41	1305,92	1302,44	1295,50	1288,60	1281,75	1274,97	1268,27
90	1346,65	1346,32	1345,99	1345,33	1344,66	1344,00	1340,68	1337,37	1334,07	1330,77	1327,48	1320,94	1314,44	1308,01	1301,64	1295,36
100	1370,92	1370,61	1370,29	1369,66	1369,03	1368,40	1365,26	1362,12	1358,99	1355,87	1352,76	1346,58	1340,46	1334,40	1328,41	1322,51
110	1395,52	1395,22	1394,92	1394,32	1393,72	1393,12	1390,13	1387,16	1384,19	1381,24	1378,30	1372,46	1366,67	1360,95	1355,31	1349,76
120	1420,44	1420,16	1419,87	1419,31	1418,74	1418,17	1415,33	1412,51	1409,69	1406,89	1404,10	1398,57	1393,10	1387,70	1382,38	1377,14
130	1445,72	1445,45	1445,17	1444,63	1444,09	1443,55	1440,85	1438,17	1435,50	1432,84	1430,19	1424,95	1419,77	1414,66	1409,63	1404,68
140	1471,34	1471,08	1470,82	1470,31	1469,79	1469,28	1466,71	1464,16	1461,62	1459,09	1456,58	1451,60	1446,69	1441,85	1437,09	1432,41
150	1497,32	1497,07	1496,83	1496,33	1495,84	1495,35	1492,91	1490,48	1488,06	1485,66	1483,27	1478,55	1473,89	1469,30	1464,78	1460,35

Таблица А.2 – Коэффициент сжимаемости метана

°C	1 ата	1,5 ата	2 ата	3 ата	4 ата	5 ата	10 ата	15 ата	20 ата	25 ата	30 ата	40 ата	50 ата	60 ата	70 ата	80 ата
-20	0,99703	0,99554	0,99405	0,99107	0,98809	0,98510	0,97008	0,95494	0,93968	0,92432	0,90885	0,87767	0,84637	0,81526	0,78488	0,75591
-10	0,99739	0,99608	0,99477	0,99215	0,98953	0,98691	0,97377	0,96058	0,94735	0,93408	0,92079	0,89421	0,86776	0,84175	0,81650	0,79250
0	0,99770	0,99654	0,99539	0,99309	0,99078	0,98848	0,97695	0,96542	0,95390	0,94239	0,93091	0,90809	0,88557	0,86358	0,84237	0,82226
10	0,99797	0,99695	0,99593	0,99390	0,99187	0,98984	0,97971	0,96961	0,95955	0,94953	0,93957	0,91988	0,90059	0,88185	0,86389	0,84691
20	0,99820	0,99730	0,99641	0,99461	0,99282	0,99103	0,98211	0,97325	0,96444	0,95570	0,94703	0,92998	0,91338	0,89735	0,88204	0,86762
30	0,99841	0,99762	0,99682	0,99524	0,99366	0,99208	0,98422	0,97642	0,96870	0,96106	0,95351	0,93870	0,92437	0,91060	0,89751	0,88524
40	0,99859	0,99789	0,99719	0,99579	0,99439	0,99300	0,98606	0,97921	0,97244	0,96575	0,95916	0,94628	0,93388	0,92203	0,91082	0,90034
50	0,99876	0,99813	0,99751	0,99628	0,99504	0,99381	0,98770	0,98167	0,97572	0,96987	0,96411	0,95291	0,94217	0,93196	0,92235	0,91341
60	0,99890	0,99835	0,99780	0,99671	0,99562	0,99453	0,98914	0,98384	0,97862	0,97350	0,96847	0,95873	0,94944	0,94064	0,93241	0,92479
70	0,99903	0,99854	0,99806	0,99709	0,99613	0,99517	0,99043	0,98577	0,98120	0,97672	0,97233	0,96386	0,95583	0,94827	0,94123	0,93475
80	0,99914	0,99872	0,99829	0,99744	0,99659	0,99575	0,99157	0,98749	0,98349	0,97957	0,97576	0,96841	0,96148	0,95500	0,94900	0,94352
90	0,99925	0,99887	0,99849	0,99775	0,99700	0,99626	0,99260	0,98902	0,98553	0,98212	0,97881	0,97246	0,96650	0,96097	0,95588	0,95127
100	0,99934	0,99901	0,99868	0,99802	0,99737	0,99672	0,99352	0,99040	0,98736	0,98440	0,98153	0,97607	0,97097	0,96627	0,96200	0,95816
110	0,99942	0,99913	0,99884	0,99827	0,99770	0,99713	0,99434	0,99163	0,98900	0,98645	0,98398	0,97930	0,97497	0,97101	0,96745	0,96429
120	0,99950	0,99924	0,99899	0,99850	0,99800	0,99751	0,99509	0,99274	0,99048	0,98829	0,98617	0,98220	0,97855	0,97526	0,97232	0,96977
130	0,99956	0,99935	0,99913	0,99870	0,99827	0,99784	0,99576	0,99375	0,99181	0,98994	0,98815	0,98480	0,98177	0,97907	0,97670	0,97469
140	0,99962	0,99944	0,99925	0,99888	0,99851	0,99815	0,99637	0,99466	0,99301	0,99144	0,98994	0,98716	0,98467	0,98250	0,98064	0,97911
150	0,99968	0,99952	0,99936	0,99905	0,99874	0,99843	0,99692	0,99548	0,99410	0,99280	0,99156	0,98928	0,98729	0,98559	0,98419	0,98309