

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

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
«Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения»	

УДК 622.691.5-032.3.002.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Б	Карсыбаев Р.А.		31.05.2017

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Брусник О.В.	к.п.н.		31.05.2017

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шарф И. В.	к.э.н, доцент		31.05.2017

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Маланова Н.В.	к.т.н		31.05.2017

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротченко Т.В.	к.ф.н., доцент		31.05.2017

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И.О. Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Бурков П.В.	д.т.н, профессор		

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения магистрантов

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
Р1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	ОК-1; ОК-2; ОК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
Р2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы-в области интеллектуальной собственности</i>	ОК-1; ОК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
Р3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач развития</i> нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.	ОК-1; ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
Р4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды</i> .	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22;

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
P5	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов	ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20;

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

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

УТВЕРЖДАЮ:
 И.О. Зав. Кафедрой

_____ Бурков П.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

На выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ5Б	Карсыбаеву Равилю Арсеновичу

Тема работы:

«Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения»

Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 26.04.2016 г. №3208/с
---	--------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).

ГРС г. Татарск Новосибирской области.

Сырье: природный газ.

Входные данные: диаметр входного газопровода на ГРС – 150 мм.; максимальное возможное давление в подводящем газопроводе – 5,4 МПа; фактическое (рабочее) давление в подводящем газопроводе – 3,5 МПа; минимальное рабочее давление в подводящем газопроводе – 2,0 МПа; давление в газопроводе на выходе из ГРС – 0,6 МПа; тип существующей ГРС – АГРС «Энергия-1»; режим работы - круглогодичный, непрерывный; производительность ГРС - 30 тыс.м3/час.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Создать новые принципиальные технологические схемы с использованием турбодетандеров в системе распределения природного газа на ГРС. Выполнить обзор существующих способов утилизации потенциальной энергии природного газа. Рассмотреть и проанализировать индукционную нагревательную систему. Предложить новую технологическую схему подготовки газа с использованием турбодетандерного агрегата для низкотемпературной сепарации природного газа.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Шарф И.В., к.э.н., доцент
«Социальная ответственность»	Маланова Н.В., к.т.н., инженер
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1 Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.09.2016г
---	-------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Брусник О.В.	к.п.н.		05.09.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Б	Карсыбаев Равиль Арсенович		05.09.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 98 с., 18 рис., 20 табл., 50 источников, 1 прил.

Ключевые слова: газораспределительная станция, узел редуцирования газа, турбодетандеры, природный газ, потенциальная энергия природного газа, электрогенератор, теплообменник, моноблочный турбодетандерный агрегат, турбина. _____

Объектом исследования является (ются) термогазодинамические процессы, происходящие в схемах подготовки и транспортировки природного газа, в том числе и в проточной части турбодетандеров.

Цель работы – создание новых принципиальных технологических схем с использованием турбодетандеров в системе распределения природного газа, разработке новых конструкций и увеличении эффективности проточных частей турбодетандеров.

В процессе исследования проводились разработка технологических схем для газораспределительной станции (ГРС):

- с подогревом транспортного газа после турбодетандера;
- с потребителями газа разного давления.

Создание метода выбора номинальных параметров турбодетандерного агрегата для работы на ГРС с целью получения максимальной годовой выработки электроэнергии.

В результате исследования предложены схемы для газораспределительной станции на базе утилизационной турбодетандерной установки для общей работы с воздушной климатической системой и для станции с потребителями газа разного давления. Предложен новый метод выбора номинальных параметров турбодетандерного агрегата для газораспределительной станции.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: диаметр входного газопровода ГРС – 150 мм.; максимальное возможное давление в подводящем газопроводе – 5,4 МПа; фактическое (рабочее) давление в подводящем газопроводе – 3,5 МПа; давление в газопроводе на выходе из ГРС – 0,6 МПа; тип существующей ГРС – АГРС «Энергия-1»; режим работы – непрерывный, круглогодичный; производительность ГРС – 30 тыс.м³/час. _____

Область применения: газораспределительные станции.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	9
ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 ТУРБОДЕТАНДЕРНЫЕ АГРЕГАТЫ ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАК ОБЪЕКТЫ ИСЛЕДОВАНИЯ.....	13
1.1 Общие положения. Области применения турбодетандеров.....	13
1.2 Технологические схемы на газовых промыслах, в которых применяются турбодетандерные установки.....	15
1.3 Технологии переработки природного газа, используемые на газовых промыслах.....	18
1.4 Применение турбодетандерных установок в процессе переработки природного газа.....	22
1.5 Схема охлаждения природного газа.....	24
1.6 Особенности работы утилизационного турбодетандера.....	25
1.7 Типы конструкций эксплуатируемых турбодетандеров.....	30
2 Технологическая схема утилизационной турбодетандерной установки при совместной работе с воздушной климатической системой.....	32
3. Турбодетандерная утилизационная установка для потребителей, использующих природный газ с различным давлением.....	40
4 Новая малозатратная технологическая схема для газовых промыслов, имеющих разوناпорные скважины.....	45
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	52
5.1 Экономическая модель.....	52
5.2 Мощность проекта.....	53
5.3 Экономический расчет при проведении капитального ремонта.....	57
5.3.1 Затраты на оборудование, здания и сооружения.....	57
5.3.2 Затраты на контрагентные услуги.....	58
5.3.3 Затраты на спецтехнику.....	59
5.3.4 Затраты на оплату труда.....	61
5.3.5 Постоянные и переменные издержки.....	63
5.4 Сумма капиталовложений в проект и оценка эффективности внедрения ЭТДУ – 4000 в ГРС.....	64

5.5 Оценка эффективности внедрения ЭТДУ – 4000 на ГРС	64
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	67
6.1 Область применения.	67
6.2 Производственная безопасность.....	68
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	68
6.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования.....	71
6.2.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов.	72
6.3 Экологическая безопасность.....	75
6.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.	75
6.3.2 Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду.	77
6.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	77
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	79
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.	79
6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследований.	79
6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	79
6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	80
6.5.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.	80
6.5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	82
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	83
ПРИЛОЖЕНИЕ А	88

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АВО – аппарат воздушного охлаждения.

НТДА – низкотемпературный турбодетандерный агрегат.

ВК – входной коллектор.

НТК – низкотемпературная конденсация.

ГКМ – газоконденсатное месторождение.

НТС – низкотемпературная сепарация.

ГПА – газоперекачивающий агрегат.

ГПЗ – газоперерабатывающий завод.

ПСА – поворотный сопловой аппарат.

ГПУ – газопромышленное управление.

ГРП – газораспределительный пункт.

ГРС – газораспределительная станция.

ГТКС – газотранспортная компрессорная станция.

СА – сопловой аппарат.

Т – турбина.

ДГА – детандер-генераторный агрегат.

ТД – турбодетандер.

ТДА – турбодетандерный агрегат.

ТО – теплообменник.

УДЭУ – утилизационная детандерэнергетическая установка.

МТДА – моноблочный турбодетандерный агрегат.

УКПГ – установка комплексной подготовки газа.

УТДУ – утилизационная турбодетандерная установка.

ЭГ – электрогенератор

Э – эжектор

					Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии приободного газа в системе газораспределения			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Карсыбаев Р.А.			Список сокращений и условных обозначений	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Брисник О.В.					9	1
Консульт.						НИ ТПУ гр.2БМ5Б		
Зав. Каф.		Бирков П.В.						

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В последние годы мировая экономика характеризуется увеличением потребления полезных ископаемых, что привело к повышенному спросу на энергосберегающие технологии для нефтегазовой промышленности. Одно из направлений энергосбережения для газодобывающей и газотранспортной системы связано с использованием турбодетандерных агрегатов.

Увеличение технико-экономических показателей газовой промышленности достигается за счет разработки новых принципиальных технологических схем транспортировки газа, а также конструкций турбодетандерных агрегатов.

Основоположником использования турбодетандеров в технологии транспорта и переработки газов является академик Капица П.Л. Большой вклад в развитие технологических схем добычи и транспортирования природного газа и усовершенствование конструкций турбодетандерных установок внесли Язык А.В., Епифанова В.И., Степанец А.А., Мальханов О.В. и др. В то же время для увеличения эффективности работы газодобывающих и газотранспортных комплексов целый ряд проблемных вопросов, таких как: увеличение качества природного газа, который подаётся в магистральный газопровод; выработка электроэнергии за счет потенциальной энергии сжатого газа и другие, требуют совершенных решений.

Турбодетандеры – это турбомашины, у которых за счет расширения газообразного рабочего тела (природного газа) вырабатывается механическая энергия. Их использование позволяет увеличить эффективность работы газового комплекса за счет выработки электроэнергии.

					Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Введение			Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Карсыбаев Р.А.								
Руковод.		Брисник О.В.							10	3
Консульт.								НИ ТПУ гр.2БМ5Б		
Зав. Каф.		Бирков П.В.								

Получение высоких показателей эффективности схем распределения газа с использованием турбодетандеров новых конструкций основывается на учете реальных свойств природного газа и переменных режимов работы газовых комплексов.

Важную роль при разработке высокоэффективных турбодетандеров играет выбор рациональных форм проточной части, профилей лопаточных аппаратов и учет особенностей их эксплуатации в разных условиях.

Таким образом, актуальность работы по созданию энергосберегающих технологий с использованием турбодетандеров как за счет увеличения эффективности технологических схем подготовки газа, так и внедрения новых, более совершенных конструкций проточных частей этих машин, обусловлена достижением существенного экономического эффекта.

Цель и задачи исследования. Цель магистерской диссертационной работы заключается в создании новых принципиальных технологических схем с использованием турбодетандеров в системе распределения природного газа, разработке новых конструкций и увеличении эффективности проточных частей турбодетандеров.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать технологические схемы для газораспределительной станции (ГРС):
 - с подогревом транспортного газа после турбодетандера;
 - с потребителями газа разного давления.
- создать метод выбора номинальных параметров турбодетандерного агрегата для работы на ГРС с целью получения максимальной годовой выработки электроэнергии;
- усовершенствовать конструкцию турбодетандера для эксплуатации на переменных режимах за счет разработки рациональных форм профилей лопаточных аппаратов.

Объект исследования – термогазодинамические процессы, происходящие в схемах подготовки и транспортировки природного газа, в том числе и в проточной части турбодетандеров.

Предмет исследования – усовершенствование рабочих процессов и конструкции турбодетандерных установок с целью увеличения показателей их эффективности в широком диапазоне режимов в разных условиях использования.

Методы исследования – методы математического моделирования процессов в элементах принципиальных схем, методы оптимизации для выбора номинальных параметров утилизационного турбодетандера, методы трехмерного моделирования и расчетов проточных частей.

Научная новизна полученных результатов:

- Впервые предложены схемы для газораспределительной станции на базе утилизационной турбодетандерной установки для общей работы с воздушной климатической системой и для станции с потребителями газа разного давления.
- Предложен новый метод выбора номинальных параметров турбодетандерного агрегата для газораспределительной станции.
- На основании комплексных численных исследований впервые получен характер влияния геометрических характеристик профилей рабочих лопаток турбодетандера на эффективность его работы на переменных режимах эксплуатации.

Практическое значение полученных результатов. Предложена принципиальная схема внедрения турбодетандерного агрегата на ГРС г. Татарск Новосибирской области, а также даны рекомендации по профилированию рабочих лопаток проточной части турбодетандеров для повышения эффективности работы на разных режимах.

					Введение	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ТУРБОДЕТАНДЕРНЫЕ АГРЕГАТЫ ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАК ОБЪЕКТЫ ИСЛЕДОВАНИЯ

1.1 Общие положения. Области применения турбодетандеров.

Турбодетандерами называются турбомашинны, используемые для расширения газов. Название турбодетандер состоит из двух слов «турбина» - лопаточный двигатель, преобразующий энергию потока рабочей среды в механическую, и «детандер» происходит от французского слова *detendre* – расширять сжатое. Отличие турбины от турбодетандера заключается в том, что основное назначение турбины это выработка механической энергии, а основное назначение турбодетандера это производство холода [1].

Установки, которые за счет расширения природного газа вырабатывают механическую энергию и служат приводом электрогенератора, называются утилизационными турбодетандерными установками (УТДУ) или детандер-генераторными агрегатами (ДГА) [2]. Турбодетандерные установки, которые вырабатывают холод и которые служат приводом компрессора, называются турбодетандерными агрегатами (ТДА). УТДУ используют излишек давления газа для выработки электроэнергии на газораспределительных станциях или газораспределительных пунктах, а ТДА используют в различных схемах охлаждения, очистки, осушки и сепарации низкокипящих углеводородов из природного газа.

В газовой промышленности турбодетандеры используются для:

1) пуска газотурбинной установки газоперекачивающего агрегата (ГПА), а также для проворачивания ее ротора при останове (с целью его охлаждения). При этом турбодетандер работает на транспортируемом газе [17];

					Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования			Лит.	Лист	Листов		
Разраб.		Карсыбаев Р.А.									13	18
Руковод.		Брисник О.В.										
Консульт.												
Зав. Каф.		Бирков П.В.										
								НИ ТПУ гр.2БМ5Б				

2) охлаждения природного газа (при его расширении в турбине) в установках его сжижения [3];

3) охлаждения природного газа в установках при «промысловой» подготовке для транспорта по трубопроводной системе (удаление влаги путем ее вымораживания и т.п.) [4];

4) привода компрессора высокого давления с целью подачи газа в подземные хранилища;

5) выработки электроэнергии на газораспределительных станциях (ГРС) системы транспорта природного газа к его потребителям с использованием в турбине перепада давлений газа между трубопроводами высокого и низкого давления.

В настоящее время уже достаточно хорошо изучены как вопросы создания технологических схем с применением турбодетандеров и аэродинамические закономерности, используемые при их проектированию и эксплуатации, однако еще остается немало вопросов, которые требуют дополнительных исследований [5].

В виду индивидуальности физических параметров, компонентных составов и расходов природного газа каждого месторождения или ГРС, часто приходится разрабатывать технологические схемы и проектировать новую проточную часть, вводя новые поправочные коэффициенты, создавая новые методики расчета потерь и других параметров. Другими словами, приходится выполнять дополнительные исследования, необходимые для получения достоверной информации о работе агрегата, особенно, если турбина работает в области конденсации некоторых фракций природного газа.

Соответственно, вновь спроектированные проточные части всегда требуют доводки после испытаний на натурном газе с натурными параметрами.

На сегодняшний день, по-прежнему, основным методом изучения и доводки турбодетандеров является физический эксперимент. Однако, в

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

последние годы с ростом возможностей вычислительной техники заметно увеличилась степень отработки конструкций проточных частей турбодетандеров с использованием численных экспериментов.

Численный эксперимент часто предполагает проведение расчетов с использованием методов конечных элементов, но из-за высоких требований к ресурсам персонального компьютера (ПК) не всегда удается провести его достоверно. В связи с этим параллельно развивался метод псевдо 3D расчета, реализуемый на базе системы эмпирических уравнений и зависимостей. Этот вариант расчета не такой информативный по сравнению с расчетом методом конечных элементов, но позволяет достаточно быстро провести оценку показателей работы турбомашин с допустимой точностью и при этом не требует мощного ПК и больших временных затрат.

В настоящее время большое число работ как в нашей стране, так и зарубежных, посвящено исследованию аэродинамических процессов в турбодетандерах с использованием численного эксперимента, разработке и развитию моделей вычислительной газодинамики.

Среди коллективов и организаций, работающих в этом направлении в нашей стране и зарубежом, можно выделить – ПАО «Турбогаз», г. Харьков, ЛПИ, г. Санкт-Петербург, (М.Х. Стрелец, Е.М. Смирнов, Ю.Б. Галеркин), ОАО «Криокор», г. Москва, ОАО «Турбохолод», г. Москва, «Siemens», Германия, «Atlas Copco», Швеция, «Cryostar S.A.S.», Франция и др.

1.2 Технологические схемы на газовых промыслах, в которых применяются турбодетандерные установки.

Впервые турбодетандеры начали применяться в схемах для получения сжиженного кислорода из воздуха. Идея получения кислорода из воздуха с помощью турбомашин (турбодетандера) была предложена Д. Рэлеем в 1898 г. Но ее реализация оказалась настолько трудной, что только в начале 30-х годов немецкой фирме «Сюрт» удалось (по заказу фирмы «Линде») сделать надежно работающий турбодетандер. Но его КПД, несмотря на все усилия конструкторов, не превышал 0,62...0,65. За короткий срок (2 года) П.Н.

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Капица с блеском решил задачу, создав новую конструкцию турбодетандера, настолько эффективную, что она обеспечила революцию в криогенной технике. Уже в 1938 г. в Институте физических проблем был создан небольшой опытный турбодетандер, показавший феноменальный для такой машины КПД $\sim 80\%$ [6].

В газовой промышленности турбодетандеры начали применяться с 1965 г. в схемах низкотемпературной конденсации (НТК), которая стала наиболее распространенной при обработке газов, содержащих конденсат. Промысловые установки, предназначенные для извлечения из газа тяжелых углеводородов процессом НТК, обычно называют установками низкотемпературной сепарации (НТС).

Использование турбодетандеров в установках НТС газа было предложено работниками института ВНИИГаз А.И. Арутюновым, В.И. Ивановым, В.А. Динковой, П.И. Барабановой в 1962 г. ВНИИГаз, ЮжНИИГипрогаз совместно с МВТУ им. Н.Э. Баумана разработали конструкцию опытного образца турбодетандера-компрессора (турбокомпрессора) и испытали его в 1965 г. на ГП № 7 Шебелинского ГКМ. УкрНИИГаз в 1967 г. разработал проект опытного турбокомпрессора Т-3, который был изготовлен СКБ по компрессоростроению в 1968 г.

ТДА Т-3 состоял из корпуса, ротора, регулируемого соплового аппарата турбодетандера и направляющего аппарата компрессора с резьбосрычажным механизмом поворота. В агрегате применен одноступенчатый осевой турбодетандер, а в качестве нагрузки турбодетандера - одноступенчатый центробежный компрессор с лопаточным диффузором. Ротор агрегата двухопорный с консольным расположением рабочих колес турбодетандера и компрессора. В качестве опор использовались подшипники качения, которые смазывались маслом, подаваемым через форсунки за счет разности давлений в масляном баке и картере машины. Агрегат герметичен и не требует электроэнергии во время работы. Газ утечек попадает через уплотнения на рабочих колесах в картер

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

агрегата, оттуда с отработанным маслом – в масляный бак, из которого, освободившись от масла, попадает на вход в компрессор. Масса агрегата ~1,9 т, основные размеры 1550x750x725 мм. Агрегат рассчитан на работу в промышленных установках природного газа при температурах сепарации до 223 К (-50 °С) в диапазоне рабочих давлений от 8,0 до 0,2-0,3 МПа. Пропускную способность агрегата с помощью поворотного соплового аппарата (ПСА) турбодетандера можно плавно регулировать от 2 до 4 млн.м³/сут. при давлении 6,4 МПа. Максимальная холодопроизводительность агрегата при давлении 8,0 МПа и температуре 247 К (-26 °С) равна 4,1868 млн.кДж/ч (1163 кВт). На эксплуатационных режимах частота вращения ротора изменяется от 5 до 8 тыс.об/мин, максимальная - 11 тыс.об/мин. Система автоматики позволяет контролировать в процессе эксплуатации следующие параметры: частоту вращения ротора, давление газа на входе в турбодетандер, температуру сепарации газа, уровень масла в маслобаках, температуру подшипников, а также запуск и остановку агрегата при повышении числа оборотов ротора.

Первая опытно-промышленная установка НТС с турбокомпрессором Т-3 (проект ГИПРОГаза), построена и принята в эксплуатацию в феврале 1971 г. на ГП № 6/11 Шебелинского ГKM [7].

В разработке, производстве и внедрении ТДА на ГKM стран СНГ ведущая роль принадлежит ПАО "Турбогаз" г. Харьков (ранее ВНПО "Союзтурбогаз"). За двадцать с небольшим лет это предприятие поставило в газовую промышленность более 160 ТДА современных конструкций и на различные параметры, обеспечив многие месторождения России, Украины и Средней Азии передовым турбохолодильным оборудованием. Только на одном Ямбургском ГKM действует более семидесяти мощных ТДА, рассчитанных на давление газа на входе 13,0 МПа и расход газа 10,0 млн.м³/сутки. Практика использования ТДА на различных месторождениях показала, что турбохолодильные установки на его основе отличаются простотой, надежностью и низкой металлоемкостью конструкции,

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

обуславливают минимальное количество обслуживающего персонала, высокую автономность и широкий диапазон регулирования, а также отсутствие вредного воздействия на окружающую среду.

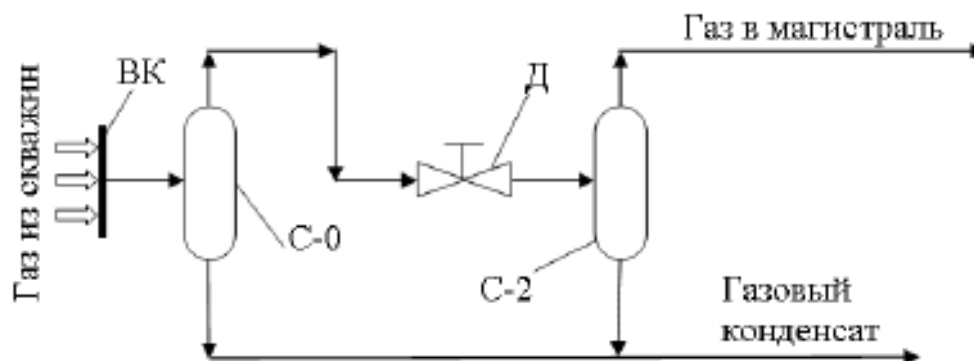
В настоящее время остро стоит проблема создания и производства новых перспективных конструкций ТДА. Решение этой проблемы особенно актуально в связи с вводом в строй новых месторождений газа, стремлением внедрять энергосберегающие технические решения. Несмотря на устойчивую тенденцию экономии природного газа, опубликованные прогнозы свидетельствуют, что к 2030 году потребление газа в мире может удвоиться, а межрегиональные поставки утроиться. По данным ВНИИгаза потребность в промышленных ТДА до 2020 года с учетом резерва оценивается в 220-270 штук [8].

1.3 Технологии переработки природного газа, используемые на газовых промыслах

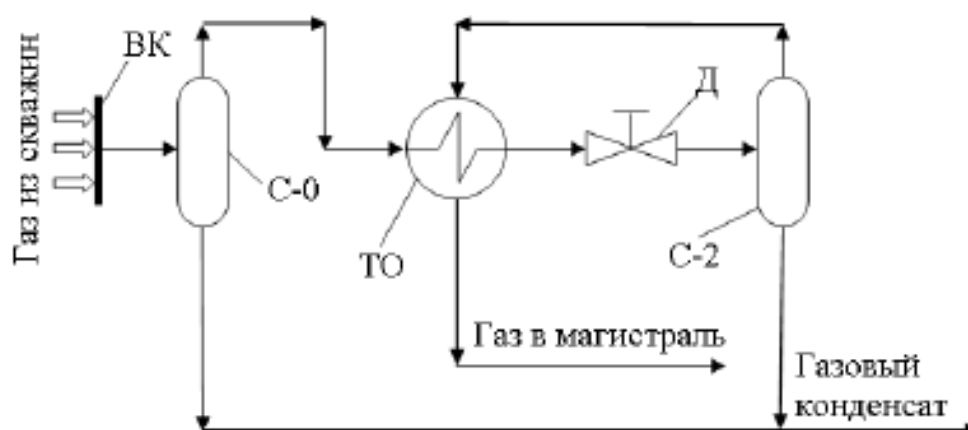
На газовых промыслах для переработки природного газа, добытого из скважин, перед подачей в газовую магистраль используют технологические схемы низкотемпературной сепарации газа (НТС). С помощью последних происходит очистка, осушка и отделение фракций низкокипящих углеводородов. Для эффективного отделения низкокипящих углеводородов в сепараторе необходимо, чтобы температура природного газа не превышала точки росы [9].

Самым простым способом получения холода для достижения температуры точки росы на промысле является изохнтальпийное расширение газа – процесс дросселирования, сопровождающийся эффектом Джоуля-Томсона. Этот процесс осуществляется с применением дроссельных устройств. Преимущество таких схем – их небольшая металлоемкость и высокая надежность работы. На рис. 1 приведены упрощенные технологические схемы НТС с использованием дросселирующего устройства.

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



а) без рекуперативного теплообменника



б) с рекуперативным обменником

Рисунок 1– Технологические схемы НТС с использованием дросселирующего устройства: ВК - входной коллектор; С-0, С-2 – сепараторы предварительной очистки и низкотемпературный; Д – дросселирующее устройство; ТО – рекуперативный теплообменник

Газ поступает из скважин во входной коллектор ВК (рис.1., а), после которого направляется в сепаратор предварительной очистки С-0, в котором происходит отделение жидкой фракции от газообразной. Затем газообразная фракция направляется в дросселирующее устройство Д, в котором происходит понижение давления газа и выпадение газового конденсата. В низкотемпературном сепараторе С-2 газовый конденсат отделяется от газовой фракции, затем осушенный газ направляется в газовую магистраль. Схема «б» (рис 1.) отличается от схемы «а» наличием рекуперативного теплообменника (ТО), в котором газ охлаждается перед подачей в

дросселирующее устройство за счет потока охлажденного и очищенного газа в низкотемпературном сепараторе С-2.

Одним из существенных недостатков схемы НТС с дросселирующим устройством является потребность в большом перепаде давления природного газа на промысле для достижения требуемой температуры точки росы. Для схемы «а» (рис. 1., а) показатель снижения температуры (характеризует потребность в перепаде давления) составляет 0,194 МПа/°С, для схемы «б» (см. рис. 1., б) 0,055 МПа/°С.

В процессе эксплуатации скважин пластовое давление снижается. В результате при использовании схем НТС с дросселирующим устройством для расширения газа не достигается температура точки росы, что приводит к снижению качества природного газа. Поэтому, чтобы компенсировать падение давления газа в скважинах перед установкой НТС с дросселирующим устройством, устанавливают дожимную компрессорную станцию (ДКС). Такая схема приведена на рис. 2. Приводом для дожимного компрессора ДКС служит электро- или газотурбинный двигатель. После ДКС по газовому тракте устанавливают аппарат воздушного охлаждения (АВО), предназначенный для охлаждения газа после ДКС воздухом окружающей среды (при прохождении ДКС газ нагревается).

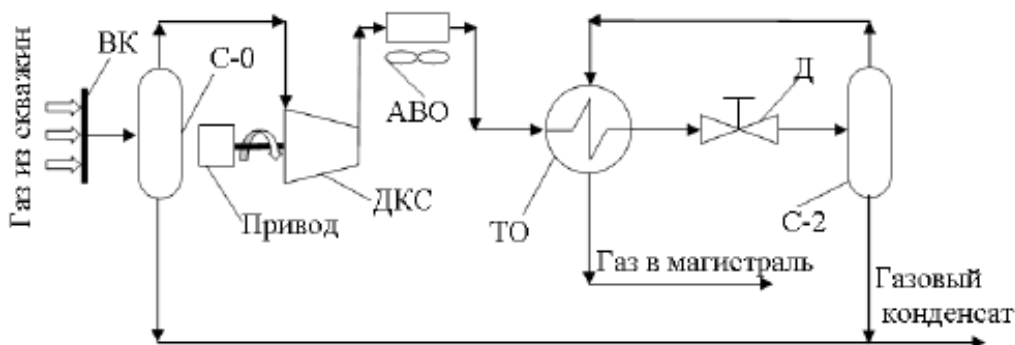


Рисунок 2 – Технологическая схема НТС с дросселирующим устройством и ДКС: ВК - входной коллектор; С-0, С-2 – сепараторы предварительной очистки и низкотемпературный; ДКС – дожимная компрессорная станция; Привод – электродвигатель или газотурбинный

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

двигатель; АВО – аппарат воздушного охлаждения; Д – дросселирующее устройство; ТО – рекуперативный теплообменник.

Поскольку установка ДКС требует больших затрат, то ввод ее в эксплуатацию стремятся отложить. В этом случае вместо дросселирующего устройства в качестве источника холода целесообразно использовать турбодетандер [10,11].

Процессы НТК и НТС используются также в схемах установок низкотемпературной абсорбции как их предварительная стадия. До использования турбодетандеров в схемах НТК и НТС применялись эжекторные устройства. Технологическая схема промышленной установки НТС с эжектором приведена на рис. 3.

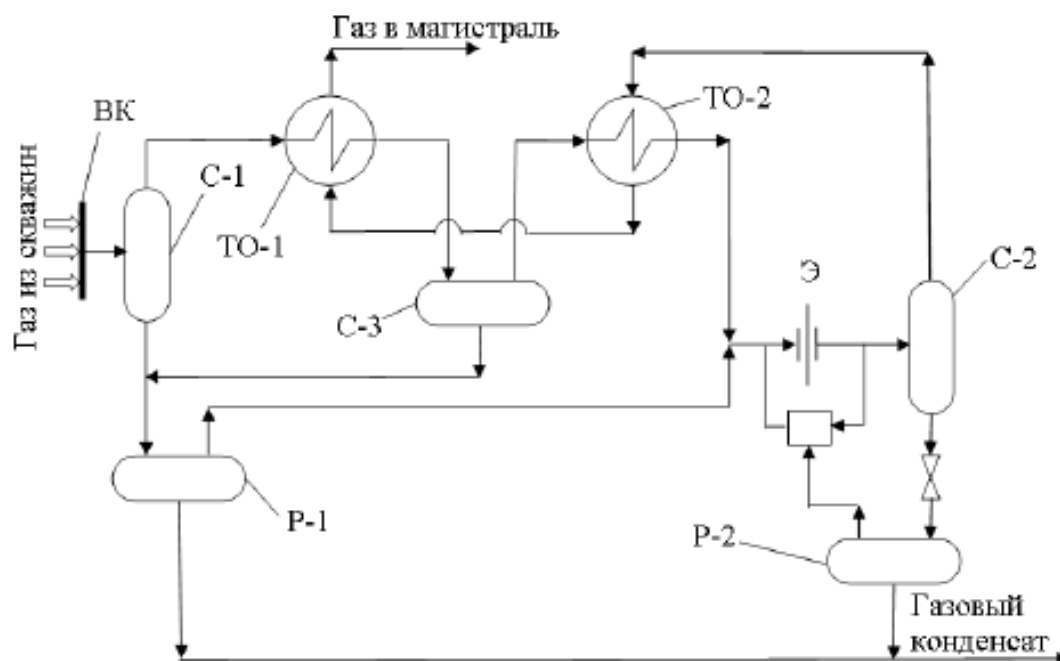


Рисунок 3 – Принципиальная технологическая схема установки НТС с эжектором: ВК - входной коллектор; С-1, С-2, С-3 – сепараторы; Р-1, Р-2 – трехфазные разделители; ТО-1, ТО-2 – рекуперативные теплообменники; Э – эжектор.

Поскольку для эффективной работы схемы требуется выдерживать перепад давления на эжектор, а схема должна работать при различных параметрах газа, то такие схемы стали использоваться меньше.

По сравнению с дросселирующими устройствами и эжекторами применение турбодетандеров в схемах НТС имеет ряд преимуществ:

- выработка холода при меньшем перепаде давлений;
- диапазон изменения расхода газа от 50 до 110 % от номинального, с небольшим снижением КПД.

На одном валу с турбодетандером располагают компрессор, который необходим для частичного восстановления давления газа после расширения в турбодетандере или электрогенератор ЭГ, который вырабатывает электрическую энергию. Электрогенератор используют в тех случаях, когда при расширении в турбодетандере газа перепад давления достаточен для достижения физических параметров, соответствующих точке росы при 0,025 МПа/°С. При меньших перепадах давления в схеме применяют установки с компрессором, обеспечивающие выполнение соответствующих параметров при 0,011 МПа/°С.

1.4 Применение турбодетандерных установок в процессе переработки природного газа.

Широкое распространение получили турбодетандеры и в процессах переработки природного газа на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ), в которых они также являются основными источниками холода [12].

В мировой практике [13] турбодетандерные установки применяются на каждом пятом ГПЗ, и их число постоянно увеличивается. Известен ряд технологических схем газопереработки с помощью ТДА [14] и их последующее развитие, несомненно, имеет большое научно-техническое значение.

Эффективность работы установок НТС и НТК зависит от состава газа, давления и температуры процесса, числа ступеней конденсации, характеристик оборудования и др. факторов. Поэтому, при недостаточном избыточном давлении газа, в схему включается испаритель, где охлаждение газа осуществляется с использованием внешнего хладагента. Следует

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

отметить, что более эффективно низкую температуру можно получить за счет применения ТДА.

Одна из наиболее распространённых схем установки НТС с турбодетандером, предназначенным для сжижения низкокипящих углеводородов природного газа, приведена на рис.4.

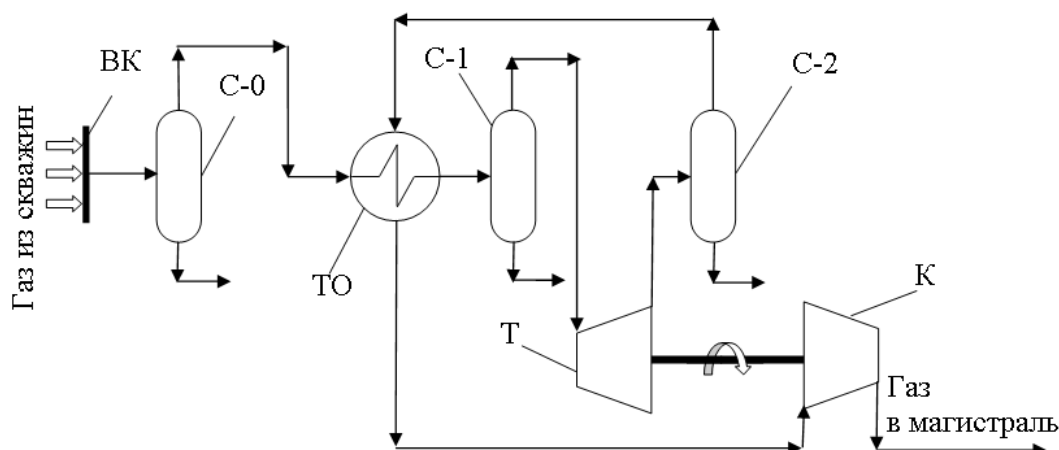


Рисунок 4 – Принципиальная схема турбодетандерного агрегата для сжижения низкокипящих углеводородов природного газа: ВК – входной коллектор; С-0, С-1, С-2 – сепараторы предварительной, вторичной очистки и низкотемпературный; ТО – рекуперативный теплообменник; Т – турбина турбодетандерного агрегата; К – компрессор.

Принцип работы этой схемы позволяет выделить следующие процессы:

- из месторождения сырой газ (смесь газа и газового конденсата) поступает в сепаратор С-0, в котором разделяется на две фракции газообразную и жидкую;
- газообразная фракция подается в теплообменник ТО, в котором охлаждается обратным потоком сухого газа. В результате охлаждения происходит частичная конденсация газа;
- после охлаждения в ТО газ подается в сепаратор С-1, в котором происходит дальнейшее разделение жидкой и газообразной фракций;
- осушенный газ направляется в турбодетандер, в котором происходит расширение газа с понижением температуры и давления. При этом

происходит дополнительно частичная конденсация газа и газ становится влажным. Расширяясь в турбодетандере, газ вырабатывает механическую энергию, которую отдает присоединенному компрессору;

- затем влажный газ направляется в сепаратор С-2, в котором происходит дополнительное разделение жидкой и газообразной фракций;

- из сепаратора С-2 сухой газ направляется в ТО, в котором отдает свой холод сырому газу;

- после ТО нагретый сухой газ направляется в компрессор, присоединенный к турбодетандеру, в котором сжимается и после повышения давления и температуры газ направляется в магистраль.

Представленная принципиальная схема (рис. 4) применяется на ГКМ в установках комплексной подготовки газа (УКПГ), где необходима осушка, очистка или извлечение низкокипящих углеводородных компонентов. Содержание метана в таких составах газа на входе в установку меньше 90 % объёмных, на выходе из установки более 90 % объёмных. Температура газа на выходе из турбодетандера в этих схемах достигается обычно от минус 10 до минус 70 °С (в зависимости от назначения).

1.5 Схема охлаждения природного газа.

Турбодетандерные агрегаты нашли также широкое применение в схемах охлаждения природного газа (рис. 5). В северных областях земного шара природный газ добывается из недр земли с положительной температурой, что не позволяет подавать его в газовую магистраль, проложенную в районах вечной мерзлоты, т.к. нагрев трубопровода от газа приводит к размораживанию вечной мерзлоты, деформации газопровода и появлению в нем локальных разрушений.

Принцип работы схемы охлаждения газа (см. рис. 5) позволяет выделить следующие процессы:

- теплый газ из месторождения поступает в компрессор, в котором происходит повышение давления и температуры газа;

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- после компрессора газ направляется в аппарат воздушного охлаждения (АВО), в котором охлаждается до температуры, близкой к температуре окружающей среды;
- после АВО газ направляется в турбодетандер, в котором происходит расширение газа и одновременно понижение его температуры. Выработанная механическая энергия в турбине детандера передается компрессор, расположенному на одном валу с турбиной;
- охлажденный газ с температурой ниже температуры окружающей среды подается в газовую магистраль.

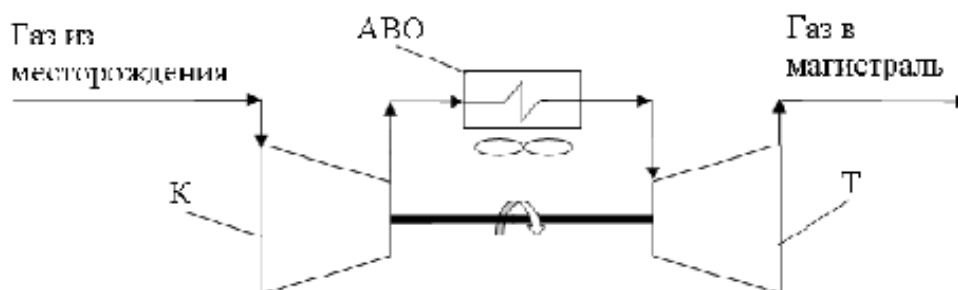


Рисунок 5 – Принципиальная схема турбодетандерного агрегата для охлаждения природного газа: К – компрессор турбодетандерного агрегата; АВО – аппарат воздушного охлаждения; Т – турбина турбодетандерного агрегата.

Принципиальная схема, приведенная на рис. 5, применяется для охлаждения газа, температура которого на входе в газовую магистраль должна не превышать 0 °С. Содержание метана в таком газе превышает 95 %.

1.6 Особенности работы утилизационного турбодетандера

Успешное использование ТДА на промыслах явилось основанием для разработки турбоагрегатов, предназначенных для энергосберегающих технологий, в том числе турбодетандеров, в которых производится утилизация энергии избыточного давления природного газа на узлах его редуцирования (УТДУ). По существующим магистральным газопроводам газ транспортируется при давлении 5,5...8,0 МПа. По отводам от магистральных газопроводов газ направляется к ГРС и далее к газораспределительным

пунктам (ГРП), в которых его давление уменьшается до значений 1,2 и 0,15 МПа соответственно. В некоторых случаях, например, для подачи газа в газотурбинные двигатели КС и электростанций, давление снижается до 1,5...3,5 МПа. Снижение давления газа обычно производится путем дросселирования в специальных дросселирующих устройствах различных типов, в которых потенциальная энергия избыточного давления газа расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений, и, таким образом, безвозвратно теряется. Если учесть существующие и постоянно растущие в мире расходы природного газа, то при использовании процесса дросселирования потери энергии могут составить десятки миллиардов киловатт-часов в год [15].

Установив утилизационные установки, использующие избыточный потенциал давления газа, можно получить электрическую энергию как на ГРС и ГРП, так и на других узлах редуцирования [16]. Расширение газа в таких установках осуществляется в турбодетандерах, единичная мощность которых может достигать 10...12 МВт. Процесс расширения газа в турбодетандерах близок к изоэнтропному, что обеспечивает получение максимальной механической энергии, которая в электрогенераторе преобразовывается в электрическую [17].

Впервые использовать перепад давления природного газа на ГРС (ГРП) для выработки электроэнергии с помощью турбодетандеров предложил в 1947 г. академик М.Д. Миллионщиков с коллегами. В 1948 г. это предложение было экспериментально проверено на ТДУ ГРП Дашавского сажевого завода А.В. Александровым [18]. Давление газа на входе в турбодетандер составляло 0,6...1 МПа, на выходе 0,12...0,13 МПа, мощность установки 50...80 кВт.

Систематические исследования и разработка проблемы рационального использования потенциальной энергии дросселируемых потоков газа началась в 80-х годах в объединении "Союзтурбогаз" (сейчас ПАО "Турбогаз"). Были проведены оценки ресурсов потенциальной энергии

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

газа на ГРС и ГТКС Мингазпрома, разработаны технологические схемы УТДУ, определены параметры и характеристики оборудования установок и их экономическая эффективность.

Результаты этих исследований послужили основой решения НТС Мингазпрома СССР от 04.11.1983 г. по созданию объединением "Союзтурбогаз" утилизационных установок УКС2-300 мощностью 300 кВт для ГТКС и УТДУ-2500 мощностью 2500 кВт для ГРС.

Первый образец УКС2-300, предназначенный для выработки электроэнергии на газотурбинных компрессорных станциях (ГТКС) мощностью 50...60 МВт, в 1987 г. прошел опытно-промышленное испытание на ГКС-1 газопровода "Союз" ПО "Оренбургтрансгаз". Второй образец УКС2-300 также прошел опытно-промышленное испытание на этой же ГКС-1.

Основные параметры УКС2-300:

- расход газа 20 тыс.м³/ч;
- давление газа на входе 5,1 МПа, температура 90 °С и на выходе давление 2,1 МПа, температура 25 °С;
- частота вращения ротора турбодетандера 24480 об/мин;
- частота вращения ротора электрогенератора 3000 об/мин;
- мощность электрогенератора 300 кВт.

К основным элементам УКС2-300 относятся: турбодетандер с редуктором, электрогенератор с электрооборудованием, трубная обвязка с арматурой, агрегаты автоматической системы управления, контрольно-измерительные приборы и приборы автоматики, а также система смазки. Все оборудование размещено в блок-боксе заводского изготовления, снабженном системами отопления, вентиляции, освещения, контроля загазованности и пожаротушения.

В установке применена одноступенчатая центростремительная турбина. Через одноступенчатый редуктор с передаточным отношением 8:1 она соединена с асинхронным электрическим генератором (типа 4А-355М-

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2УЗ), который служит для разворота ротора при запуске и для выработки электроэнергии на рабочих режимах.

Перед поступлением в турбодетандер газ подогревается в теплообменнике от системы утилизации тепла отходящих газов ГПА.

Головной образец утилизационной установки УТДУ-2500 с 1981 г. эксплуатируется на ГРС-7 г. Москва, в 1988 г. он прошел ведомственные приемные испытания.

Основные параметры УТДУ-2500:

- расход газа 4,5 млн.м³/сут;
- давление на входе 2,2 МПа, температура 60 °С и на выходе давление 1,0 МПа, температура 2 °С;
- частота вращения ротора турбодетандера и электрогенератора 3000 об/мин;
- мощность электрогенератора 2500 кВт.

Состав УТДУ-2500 включает: турбодетандер; электрогенератор (СТД-3150-2РУХЛ4); смазочно-уплотнительную систему турбодетандера, электрогенератор и трансмиссии; высоковольтное (6,3 и 10,5 кВ) электрооборудование; КИП и А, системы автоматического управления, регулирования и защиты. Все это оборудование размещено в трех блок-блоках. Блок-боксы оборудованы системами отопления, вентиляции, освещения, контроля загазованности и пожаротушения.

Турбодетандер установки подключен к входному коллектору ГРС (параллельно блоку редуцирования) и к трем выходным коллекторам ГРС. По конструкции турбина турбодетандера осевая, пятиступенчатая; для передачи крутящего момента к генератору применяется трансмиссионный вал с зубчатыми полумуфтами. Холодный поток газа после турбодетандера используется для охлаждения масла в специальном теплообменнике. Перед турбодетандером газ подогревается в огненных подогревателях.

Система смазки замкнутая, циркуляционная; она обеспечивает уплотнение выходного вала турбодетандера на всех режимах работы.

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Аппаратура КИП и А, системы автоматического управления, регулирования и защиты осуществляют дистанционный пуск установки и выведение на рабочую частоту вращения, контроль и регулирование основных параметров и необходимую сигнализацию.

Принципиальная схема УТДУ-2500 приведена на рис. 6.

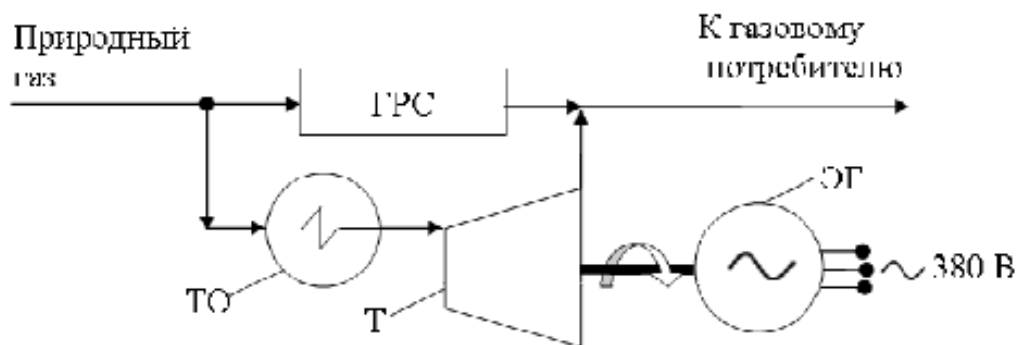


Рисунок 6 – Принципиальная схема утилизионной турбодетандерной установки УТДУ-2500: ГРС – газораспределительная станция; ТО – подогреватель газа (теплообменник); Т – турбодетандер утилизионный; ЭГ – электрогенератор.

Принцип работы схемы.

Газ подается в подогреватель, в котором нагревается за счет подвода к нему внешней теплоты. Нагретый газ подается в турбодетандер, в котором расширяется и одновременно охлаждается. При расширении вырабатывается механическая энергия, которая передается электрогенератору.

Газ греется в подогревателе до температуры, которая позволяет после расширения в турбодетандере получить температуру его не ниже 0 °С.

В схеме УТДУ энергия холода не используется. Была также разработана комбинированная установка, которая вырабатывает электроэнергию и холод [19]. При этом в схеме не применяется подогреватель, т.е. не подводится тепловая энергия для подогрева газа (рис. 7).

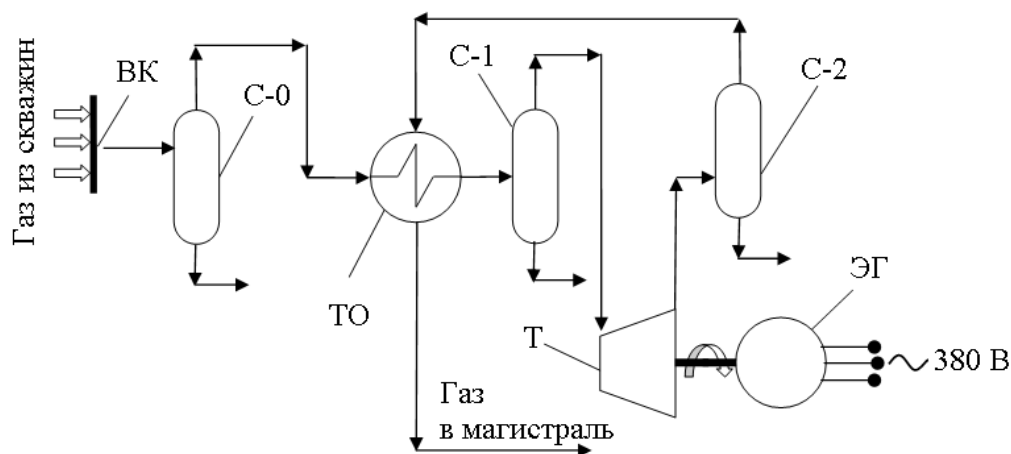


Рисунок 7 – Принципиальная схема утилизационной турбодетандерной установки при работе в холодильном цикле:

ВК – входной коллектор; C-0, C-1, C-2 – сепараторы предварительной, вторичной очистки и низкотемпературный; ТО – рекуперативный теплообменник; Т – турбодетандер; ЭГ – электрогенератор.

Принцип работы схемы заключается в следующем:

- газ подается в теплообменник, в котором он охлаждается за счет обратного потока охлажденного газа;
- охлажденный газ подается в турбодетандер, в котором он расширяется и одновременно дополнительно охлаждается. Выработанная механическая энергия передается электрогенератору. Также в турбодетандере происходит конденсация некоторых компонентов газа;
- после турбодетандера газ подается в сепаратор, где происходит разделение жидкой и газообразной фракций;
- затем сухой газ подается в теплообменник (ТО), где передает холод сырому газу; после ТО газ подается к потребителю или в магистраль.

1.7 Типы конструкций эксплуатируемых турбодетандеров.

Турбодетандеры по направлению движения потока делятся на центростремительные, центробежные и осевые; при этом турбодетандеры центростремительного и центробежного типов выполняются с рабочими колесами радиального и диагонального направлений [20]. Из-за

конструктивных особенностей и низкого значения КПД турбодетандеры центробежного типа не нашли широкого применения.

Исходя из особенностей физических условий работы турбодетандера и опыта различных фирм производителей, в основном, в схемах НТС используется центростремительный турбодетандер радиально-осевого типа (турбодетандер осевого типа в таких схемах не оправдал себя, из-за большого эрозионного износа лопаток рабочего колеса, особенно в периферийной части). Также большое преимущество конструкций радиально-осевого типа по сравнению с осевым - это срабатывание более высокого перепада давления в одной ступени, что позволяет уменьшить габариты. И еще один положительный эффект использования радиально-осевой конструкций заключается в уменьшении осевой силы, возникающей от движения газового потока и действующей на ротор агрегата, т.к. компрессор также в основном выполняется центробежного осерадиального типа.

Турбодетандеры осевого типа используются в утилизационных турбодетандерных установках, в которых необходимо расширять газ с большим перепадом давления, что требует организации многоступенчатой конструкции, а выполнить эффективную многоступенчатую проточную часть с рабочими колесами радиально-осевого типа достаточно сложно.

Каждая ступень турбодетандера состоит из соплового аппарата (СА) и рабочего колеса (РК). СА служит для полного или частичного преобразования потенциальной энергии сжатого газа в кинетическую движущегося потока, а РК – для преобразования кинетической и потенциальной энергии потока газа в механическую работу, передаваемую через вал внешнему потребителю.

В зависимости от количества срабатываемого перепада в СА турбодетандеры называют активными, если понижение давления происходит только в сопловом аппарате или реактивными, если понижение давления происходит и в сопловом аппарате и в рабочем колесе [21].

					Турбодетандерные агрегаты газовой промышленности как объекты исследования	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Технологическая схема утилизационной турбодетандерной установки при совместной работе с воздушной климатической системой.

В настоящее время недостаточно используется энергия сжатого природного газа на редуцирующих узлах: ГРС и ГРП, особенно с энергетическим потенциалом газового потока менее 1 МВт. В настоящее время в России и странах ближнего зарубежья, в основном, используются установки мощностью 2,5 и 4 МВт как имеющие более высокие технико-экономические показатели. Для использования энергии сжатого газа необходимо установить УТДУ, которая будет вырабатывать электрическую энергию за счет срабатывания перепада давления природного газа. В литературе встречаются и другие названия таких установок: утилизационная детандер энергетическая установка (УДЕУ), турбодетандер энергетический (ТДЭ) и др.

Основным недостатком получения электрической энергии с помощью таких установок является необходимость подогрева газа на входе или на выходе турбодетандера [22], т.к. при практически изоэнтропийном расширении газа существенно снижается его температура. Природный газ с отрицательной температурой запрещается подавать в газовую магистраль или потребителю, т.к. это приводит к обмерзанию грунта вдоль трубопровода или к выходу из строя газового оборудования, а также выпадению гидратов, которые увеличивают эрозийный износ трубопроводов или могут привести к закупорке трубопроводов [23]. Таким образом, в первую очередь целесообразно устанавливать УТДУ при небольшом перепаде давления газа, одновременно с большим количеством расхода газа, для получения максимальной единичной мощности.

					Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Карсыбаев Р.А.			Технологическая схема утилизационной турбодетандерной установки при совместной работе с воздушной климатической системой	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Брисник О.В.					32	8
Консульт.						НИ ТПУ гр.2БМ5Б		
Зав. Каф.		Бирков П.В.						

Идеальный вариант для таких установок, когда используется полученный холод, к примеру:

- для охлаждения газа после сжатия в дожимных компрессорах;
- в схемах переработки природного газа;
- в химической и других промышленных технологиях;
- для хранения продуктов питания или других веществ.

В случае, когда нет возможности использовать холод, тогда необходимо подогревать газ на входе или на выходе УТДУ.

Например, установка УТДУ-4000, расположенная на ГРС-4 г. Нижний Новгород, электрической мощностью 4000 кВт, требует для подогрева газа 4200 кВт теплоты. Естественно, эти мощности нельзя непосредственно сравнивать при оценке эффективности, поскольку стоимость вырабатываемой электроэнергии в два раза выше стоимости сжигаемого газа для получения тепловой энергии, требующейся для подогрева газа на входе в УТДУ.

Также рассматриваемые установки устанавливают на редуцирующих узлах тепловых электрических станций (ТЭС), у которых можно брать тепло для подогрева газа перед УТДУ. К примеру, на ТЭЦ-4 г. Москва установлены две установки УДЭУ-2500 мощностью 2500 кВт каждая.

Таким образом, появилась необходимость разработки нового технического решения для использования потенциала энергии сжатого природного газа на редуцирующих узлах, удаленных от источников тепловой энергии при отсутствии возможности использования холода.

На ГРС или ГРП расположено большое количество оборудования и приборов, которые отвечают за работоспособность редуцирующего узла, имеются помещения для обслуживающего персонала (операторная) и другие помещения с оборудованием, которое нуждается в обогреве, а также в тепловой энергии нуждается природный газ после редуцирования в дросселирующем устройстве.

					Технологическая схема утилизационной турбодетандерной установки при совместной работе с воздушной климатической системой	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

В основном, для обогрева помещений и нагрева природного газа используются газовые водогрейные котлы, в которых сжигается газ для подогрева воды.

К примеру, на ГРС Каланчак установлены два водогрейных котла суммарной тепловой мощностью 100 кВт. При анализе параметров газа: давления, температуры и расхода было выяснено, что энергетический потенциал газового потока, который можно утилизировать ~ 100 кВт. Этой электрической мощности было бы достаточно для нагрева отапливаемых помещений с помощью электрических котлов. Но, так как на этой ГРС редуцируется большой перепад давления газа с 5,4 до 0,3 МПа (изб), появляется необходимость в подогреве газа на 100 °С, для этого необходима тепловая мощность в количестве 123 кВт. Если для получения этой тепловой энергии использовать газовые котлы, то тогда пропадает смысл технического решения с установкой УТДУ.

Для решения этой задачи разработана схема, в которой подогрев природного газа на выходе из УТДУ, а также подогрев помещений станции с требуемой тепловой мощностью 100 кВт предложено реализовывать с использованием воздушной климатической системы (ВКС). Упрощенная схема такой установки приведена на рис. 8.

Схема, представленная на рис. 8, включает ГРС, УТДУ и ВКС. ГРС представлена в виде дросселирующего устройства (Др), сепаратора (С), а также добавлен подогреватель газа (П). УТДУ включает турбодетандерный агрегат (ТД) и электрогенератор (ЭГ). ВКС представлена в виде вентилятора (В), рекуператора (Р), турбины (Т), электродвигателя (ЭД) и компрессора (К).

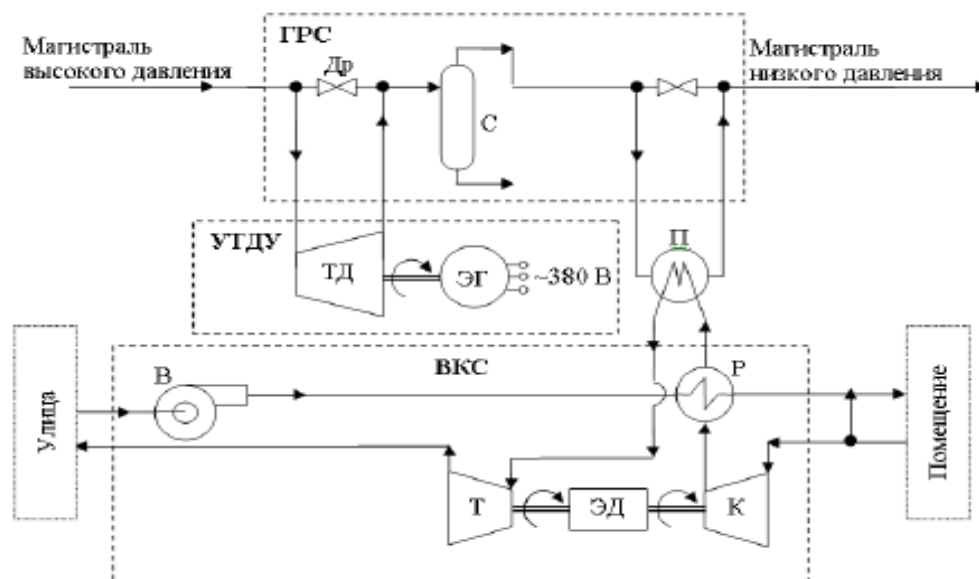


Рисунок 8 – Упрощенная схема УТДУ с ВКС для установки на ГРС в режиме подогрева помещения

Принцип действия схемы на рис.8. Природный газ из магистрали высокого давления поступает в турбодетандер ТД, в котором расширяется и тем самым вырабатывает механическую энергию, которая преобразуется в электрическую в электрогенераторе ЭГ. В процессе расширения газа в турбодетандере выпадает конденсат, который в сепараторе С отделяется. Сухой газ направляется в подогреватель П, в котором подогревается до температуры выше 0 °С и направляется в магистраль низкого давления. В свою очередь вентилятор ВКС подает воздух из атмосферы в рекуперативный теплообменник Р, в котором он подогревается и затем направляется для нагрева помещений. Далее воздух из помещения подается на компрессор К, в котором сжимается с одновременным повышением температуры, а затем в рекуператоре Р отдает своё тепло атмосферному воздуху. Частично отдав своё тепло, воздух подается для подогрева природного газа в подогреватель. Из подогревателя воздух направляется в турбину, в которой расширяется до атмосферного давления и выбрасывается в атмосферу.

Электрическая мощность, потребляемая ВКС составляет $166,3 - 64,3 = 102,0$ кВт (разность между мощностями компрессора и турбины). Учитывая

					Технологическая схема утилизационной турбодетандерной установки при совместной работе с воздушной климатической системой	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

эту мощность и электрическую мощность на привод вентилятора ВКС 9,7 кВт, несложно определить, что электрической мощности, генерируемой УТДУ, достаточно: $112,5 \text{ кВт} \approx 102,0 + 9,7 \text{ кВт}$.

Для регулирования температуры подаваемого воздуха в помещение и кратности циркуляции воздуха в схему введена линия рециркуляции. Зависимость температуры подаваемого воздуха от коэффициента рециркуляции приведена. Под коэффициентом рециркуляции понимается отношение количества свежего атмосферного воздуха к количеству воздуха, подаваемого в помещение.

При высоких значениях температуры подаваемого в помещение воздуха увеличиваются тепловые потери в окружающую среду и растет вероятность получения ожогов рабочего персонала, а при низких температурах увеличивается время нагрева помещения, поэтому целесообразно использовать средние значения.

В летнее время ВКС можно перевести на охлаждение помещения (рис.9), избыточную электроэнергию, вырабатываемую установкой УТДУ, использовать на собственные нужды или выдавать в электрическую сеть.

Для охлаждения помещения летом необходимо 22,5 кВт холода с подачей воздуха с температурой 11°C. Температура подаваемого воздуха регулируется рециркуляционным потоком.

					Технологическая схема утилизационной турбодетандерной установки при совместной работе с воздушной климатической системой	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

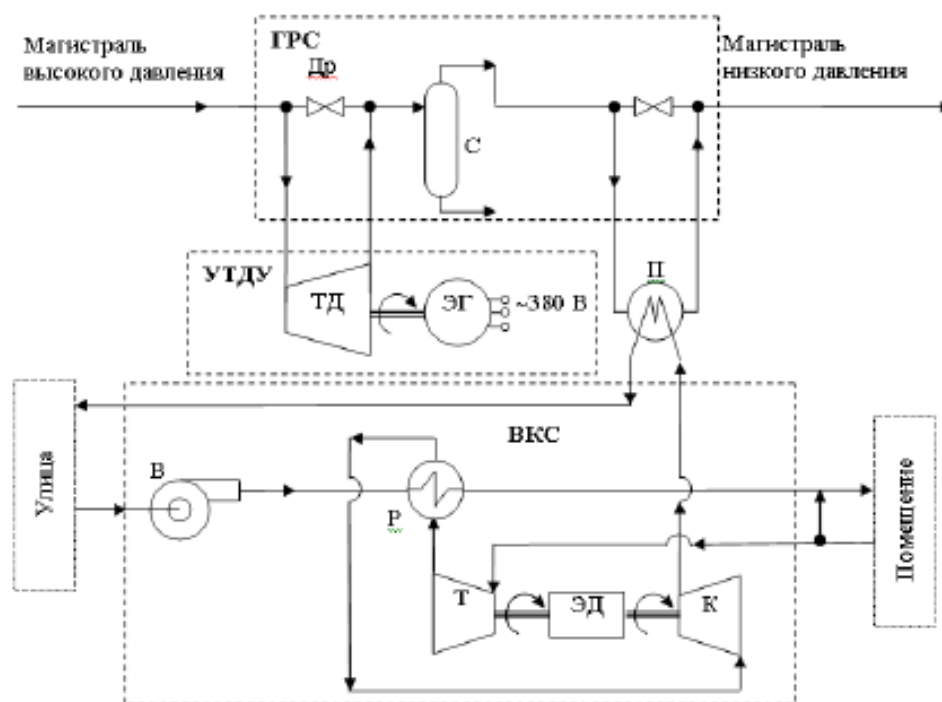


Рисунок 9 – Упрощенная схема УТДУ с ВКС для установки на ГРС в режиме охлаждения помещения.

Потребление электроэнергии воздушной климатической системой составит 31 кВт, при равных условиях по природному газу вырабатываемая мощность УТДУ составит 112,5 кВт.

Вырабатываемое избыточное количество электроэнергии в режиме охлаждения помещения составит $112,5 - 31 = 81,5$ кВт, которое возможно использовать на собственные нужды или выдавать в сеть.

Для оценки работы предлагаемой схемы проведены расчеты и построена зависимость вырабатываемой электрической мощности от температуры воздуха окружающей среды (рис.10).

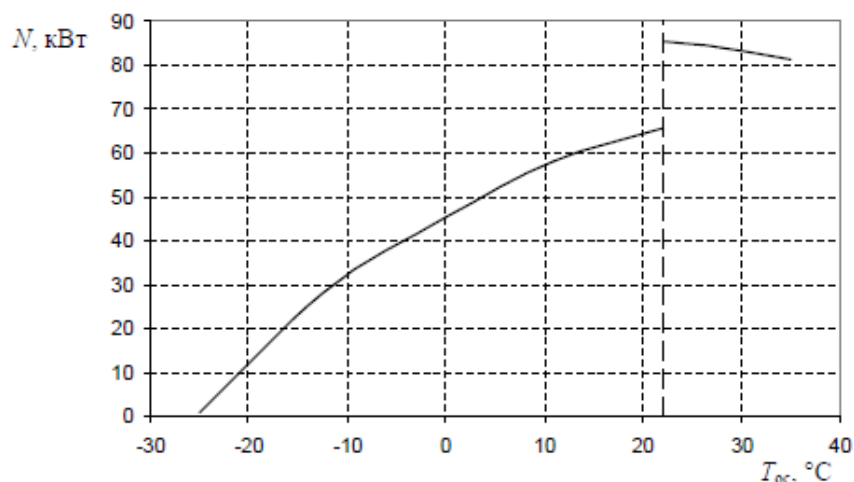


Рисунок 10 – Вырабатываемая электроэнергия в зависимости от температуры воздуха окружающей среды.

Как видно из рисунка, чем ближе температура воздуха окружающей среды к температуре воздуха в помещении ($22\text{ }^\circ\text{C}$), тем больше возможно получить электроэнергии.

При температуре воздуха окружающей среды $22\text{ }^\circ\text{C}$ ВКС переходит в режим проветривания помещения, тепловая энергия затрачивается только на подогрев природного газа после УТДУ.

Разные значения избыточной мощности по этим двум режимам вблизи температуры окружающей среды $22\text{ }^\circ\text{C}$ объясняются тем, что элементы ВКС при переключении воздушных потоков работают с различной эффективностью.

Для случая, когда нет необходимости подогревать или охлаждать помещения, а только использовать подогрев природного газа после утилизационного турбодетандера предлагается схема, приведена на рис. 10.

Даная схема была построена на основе элементов ВКС и может быть представлена в виде теплового насоса «воздух-воздух», в которой в качестве бесконечного источника тепла является окружающая среда. Данное тепло используется для подогрева газа после УТДУ.

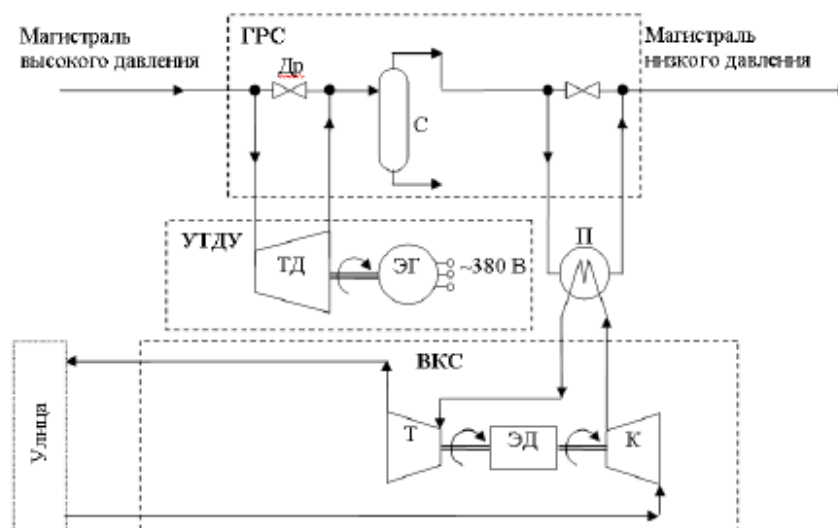


Рисунок 11 – Упрощенная схема УТДУ с ВКС для установки на ГРС в режиме подогрева природного газа.

Из рисунка 12 видно, чем выше температура воздуха окружающей среды, тем меньше необходимо электроэнергии. При температурах воздуха выше 20 °С затрачивается энергия только для прокачивания теплоносителя через подогреватель, нет необходимости в существенном повышении давления воздуха компрессором.

Таким образом, потребление электроэнергии ВКС значительно меньше в случае, когда не нужно обеспечивать климатические условия для помещения.

Вырабатываемые излишки электроэнергии, как упоминалось ранее, можно использовать на собственные нужды или выдавать в сеть.

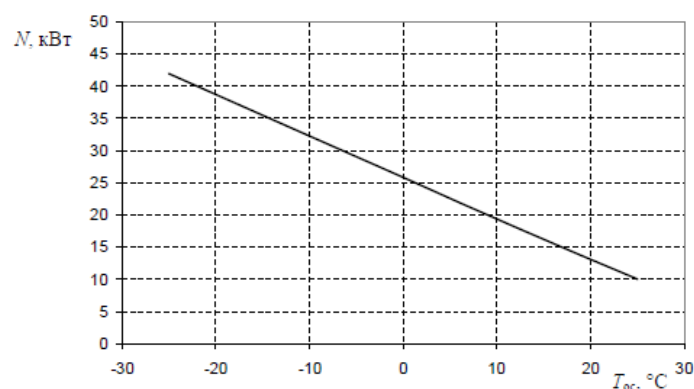


Рисунок 12 – Потребление электроэнергии в зависимости от температуры воздуха окружающей среды.

3. Турбодетандерная утилизационная установка для потребителей, использующих природный газ с различным давлением.

На газораспределительных станциях (ГРС) и газораспределительных пунктах (ГРП) для поставки газа к потребителям производится понижения с входного давления для ГРС 7,5...4,0 МПа и для ГРП 1,2 МПа до давления в распределительной сети путем расширения газа в дросселирующих устройствах. Расширение происходит без получения полезной работы, такой процесс называется эффектом Джоуля-Томсона. В этом случае теряется большое количество потенциальной энергии газа, на сжатие которого использовалась энергия на компрессорных станциях. На ГРС России энергетический потенциал превышает 1000 МВт, на ГРП он составляет более 3000 МВт.

Годовое количество вырабатываемой электрической энергии с помощью УТДУ, установленных только на ГРС, может превышать $2,6 \cdot 10^9$ кВт·ч.

В ГРС давление газа на выходе постоянное на протяжении года, в ГРП давление на выходе изменяется и зависит от потребления. Еще одной отличительной особенностью является то, что на ГРС, в основном, только один выходной поток, а на ГРП имеются несколько выходных потоков с разным давлением. Разное выходное давление обосновано разными потребителями природного газа. Например, может быть три выходных потока с давлением газа 0,6; 0,3 и 0,005 МПа [24].

Таким образом, обычная утилизационная турбодетандерная установка не может выдавать три значения давления на выходе и поэтому в ней газ расширяется только до первого отбора с наибольшим значением давления 0,6 МПа (изб). Установка еще двух турбодетандеров с дальнейшим понижением

					Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Карсыбаев Р.А.			Турбодетандерная утилизационная установка для потребителей, использующих природный газ с различным		Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Брисник О.В.						40	4
Консульт.							НИ ТПУ гр.2БМ5Б		
Зав. Каф.		Бирков П.В.							

до требуемых значений приводит к увеличению материальных затрат и, как следствие, к росту срока окупаемости проекта. Вместе с тем, при работе только одного турбодетандера с расширением газа до 0,6 МПа (изб) теряется большое количество энергетического потенциала сжатого газа. Таким образом, для использования полного потенциала сжатого газа необходимо разработать новый подход к решению этой задачи.

Существует несколько вариантов реализации УТДУ на газораспределительных станциях с потребителями природного газа разного давления:

- расширение газа в турбодетандере до наибольшего значения давления, для получения остальных значений давления происходит ступенчатое расширение в дросселирующих устройствах;
- использование нескольких турбодетандеров на разное входное и конечное давление газа;
- реализация многоступенчатого турбодетандерного агрегата с отборами газа необходимых параметров.

Первый подход является наиболее известным и часто используемым, второй подход, как уже отмечалось, редко используют из-за большой стоимости и большого срока окупаемости, но третий рассмотрен недостаточно и нигде не использовался.

В данной работе именно это направление и является предметом исследования.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать многоступенчатый турбодетандер осевого типа с двумя отборами, с поворотными сопловыми аппаратами для обеспечения максимальной эффективной работы на режимах, отличных от номинального. Принципиальная схема приведена на рис. 13.

					Турбодетандерная утилизационная установка для потребителей, использующих природный газ с различным давлением	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

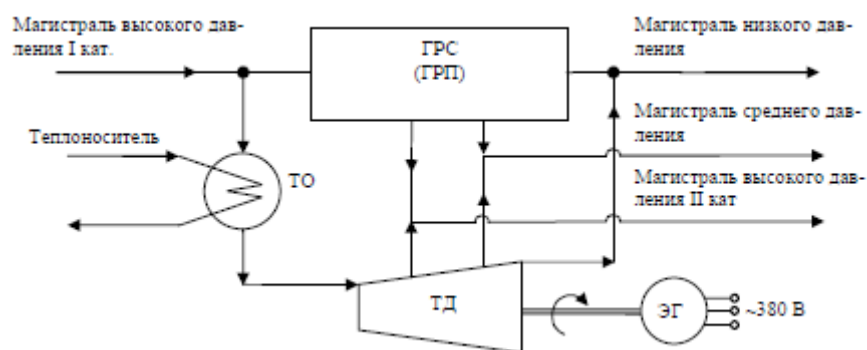


Рисунок 13 – Схема с турбодетандером на ГРС (ГРП).

Обычно, природный газ из магистрали высокого давления $\sim 1,2$ МПа (изб) подается на ГРП, в котором происходит снижение давления в дросселирующих устройствах. В первой ступени газ расширяется до 0,6 МПа (изб), часть газа с этим давлением отправляется в магистраль высокого давления II кат., а оставшаяся часть – во вторую ступень, где расширяется до давления 0,3 МПа.

Далее газ с давлением 0,3 МПа направляется в магистраль среднего давления, а оставшаяся часть – в третью ступень, где расширяется до давления 0,005 МПа и поступает в магистраль низкого давления.

В случае работы ГРС (ГРП) вместе с турбодетандером природный газ из магистрали высокого давления I кат. нагревается в теплообменнике (ТО) и подается в турбодетандер (ТД). В турбодетандере газ, расширяясь в нескольких ступенях первого отсека, совершает полезную работу. Затем часть газа из потока отбирается с давлением 0,6 МПа в магистраль высокого давления II кат., а оставшаяся часть расширяется в следующих ступенях второго отсека турбодетандера до давления 0,3 МПа. Далее часть газа отбирается в магистраль среднего давления, а оставшаяся часть расширяется в остальных ступенях третьего отсека турбодетандера до давления 0,005 МПа (изб) и отправляется в магистраль низкого давления.

Выполненный анализ работы нескольких ГРС (ГРП) позволил провести оценку количества отбираемого газа от общего расхода газа. Для магистрали высокого давления II кат. оно составляет 10 – 15 %, для магистрали среднего давления – 25 – 30 % и оставшаяся часть 65 – 55 %

Турбодетандерная утилизационная установка для потребителей, использующих природный газ с различным давлением					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	42

направляется в магистраль низкого давления. Эти значения приблизительные и для каждой газораспределительной станции необходимо проводить количественную оценку.

По расходу природного газа через ГРС и физическим параметрам можно определить мощность турбодетандера:

$$N_{\text{ТД}} = \sum_{i=1}^3 G_i \cdot (H_{\text{ад}})_i \cdot \eta_i$$

где $N_{\text{ТД}}$ - мощность на валу турбодетандера, кВт; i - номер отсека; G - массовый расход газа, кг/с; $H_{\text{ад}}$ - адиабатный тепловой перепад, кДж/кг; η - коэффициент полезного действия.

Для рассматриваемой распределительной станции, у которой массовый расход газа 10 кг/с и давление на входе 1,2 МПа, при использовании турбодетандера с расширением до давления 0,6 МПа мощность составит 940 кВт. При использовании предлагаемой конструкции турбодетандера с отборами, в соответствии с уравнением, составит 2600 кВт, это 2,76 раза больше по сравнению с обычной конструкцией.

Для исследуемых параметров проведен газодинамический расчет проточной части турбодетандера с отборами. При определении количества ступеней в каждом отсеке использовались следующие ограничения:

- 1) минимальное количество ступеней;
- 2) число Маха по абсолютной скорости на выходе из соплового аппарата не более 0,8;
- 3) периферийный диаметр по лопаткам рабочего колеса не более 1 м;
- 4) частота вращения ротора 3000 об/мин;
- 5) угол выхода потока из рабочей решетки 90°;

В результате расчетов была получена проточная часть 10-ступенчатого турбодетандера осевого типа, в котором первый отбор находится после 3 ступени, а второй отбор после 6 ступени. Результаты расчета приведены в табл. 1.

					Турбодетандерная утилизационная установка для потребителей, использующих природный газ с различным давлением	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Годовое количество электрической энергии, вырабатываемое установкой мощностью 2600 кВт, составило 22,7 млн.кВт час. Окупаемость такой установки около 4 – 5 лет в зависимости от распределения нагрузки на протяжении года и от источника тепла, необходимого для подогрева газа на входе в турбодетандер, чтобы на выходе не допустить отрицательной температуры газа.

Таблица 1 – Геометрические характеристики проточной части турбодетандера осевого типа с отборами.

Наименование		1 отсек			2 отсек			3 отсек			
Номер ступени		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расход газа	млн.ст. м ³ /сут*	1,234			1,11			0,777			
	кг/с	10			9,01			6,3			
Давление на входе, МПа (абс)		1,3	1,06	0,86	0,7	0,58	0,48	0,4	0,286	0,205	0,147
Температура на входе, °С		140	126,7	113,3	100	87,5	75,1	66	45,9	26	6,3
Давление на выходе, МПа (абс)		1,06	0,86	0,7	0,58	0,48	0,4	0,286	0,205	0,147	0,105
Средний диаметр СА, м		0,8	0,8	0,8	0,77	0,77	0,77	0,9	0,9	0,9	0,9
Средний диаметр РК, м		0,8	0,8	0,8	0,77	0,77	0,77	0,9	0,9	0,9	0,9
Длина лопатки СА, мм		12,5	14,5	16	20,5	23	25,5	15,5	20	25,5	33
Длина лопатки РК, мм		13	15	17,5	21	24,5	28,5	17,5	22,5	28,5	37

* значение расхода приведено к стандартным условиям (P=0,101325 МПа, T=20 °С).

4 Новая малозатратная технологическая схема для газовых промыслов, имеющих разнонапорные скважины.

В процессе эксплуатации газового месторождения в различных скважинах давление природного газа со временем падает неодинаково. В части скважин пластовое давление снижается и появляются, так называемые низконапорные скважины. Давление газа низконапорных скважин недостаточно для использования в технологической схеме в комплексе с другими скважинами, поскольку при понижении давления газа во входном коллекторе имеющегося перепада недостаточно для достижения при расширении точки росы. Поэтому скважину, которая в процессе эксплуатации стала низконапорной, обычно отключают, т.е. она не участвует в общей добыче природного газа на месторождении.

В настоящее время разработан ряд технологических схем низкотемпературной сепарации газа, которые эффективно работают только при незначительном снижении давления в низконапорных скважинах. Наиболее распространена схема, когда газ из низконапорных скважин после предварительной очистки направляют в компрессор ТДА, минуя низкотемпературную сепарацию (рис. 14) [25].

Существенным недостатком такой схемы является факт малого использования газа из низконапорных скважин, поскольку при увеличении подмешивания газа из низконапорных скважин на вход в компрессор ТДА нарушается баланс мощности между турбиной Т и компрессором К, вследствие чего не достигается температура точки росы в низкотемпературном сепараторе С-2, снижается качество газа по содержанию низкокипящих углеводородов.

					Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Карсыбаев Р.А.			Новая малозатратная технологическая схема для газовых промыслов, имеющих разнонапорные скважины. давлением	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Брисник О.В.					45	4
Консульт.						НИ ТПУ гр.2БМ5Б		
Зав. Каф.		Бирков П.В.						

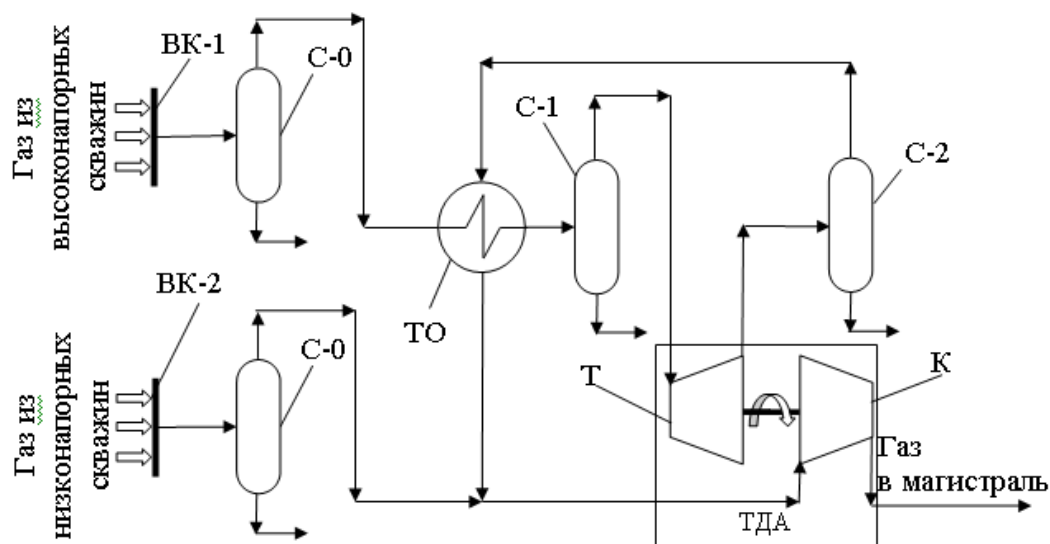


Рисунок 14 – Технологическая схема с использованием турбодетандерного агрегата с подмешиванием газа из низконапорных скважин: ВК-1, ВК-2 – входные коллектора высокого и низкого давлений; С-0, С-1, С-2 – сепараторы предварительной, вторичной очистки и низкотемпературный; ТО – рекуперативный теплообменник; ТДА – турбодетандерный агрегат, состоящий из турбодетандера Т и компрессора К.

Второй вариант низкотемпературной схемы сепарации газа представлен на рис. 15 [25]. В этой схеме на линию низконапорного газа установлена дожимная компрессорная станция ДКС, которая позволяет повышать давление низконапорного газа до требуемого значения на входе в рекуперативный теплообменник ТО. Унифицировать конструкцию ДКС для многих газовых промыслов не удалось. Её использование также приводит к существенным дополнительным затратам, поэтому большое распространение эта схема не получила. В связи с этим создание унифицированной экономичной схемы НТС природного газа для низконапорных скважин при увеличении их количества на многих месторождениях стало актуальной задачей.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

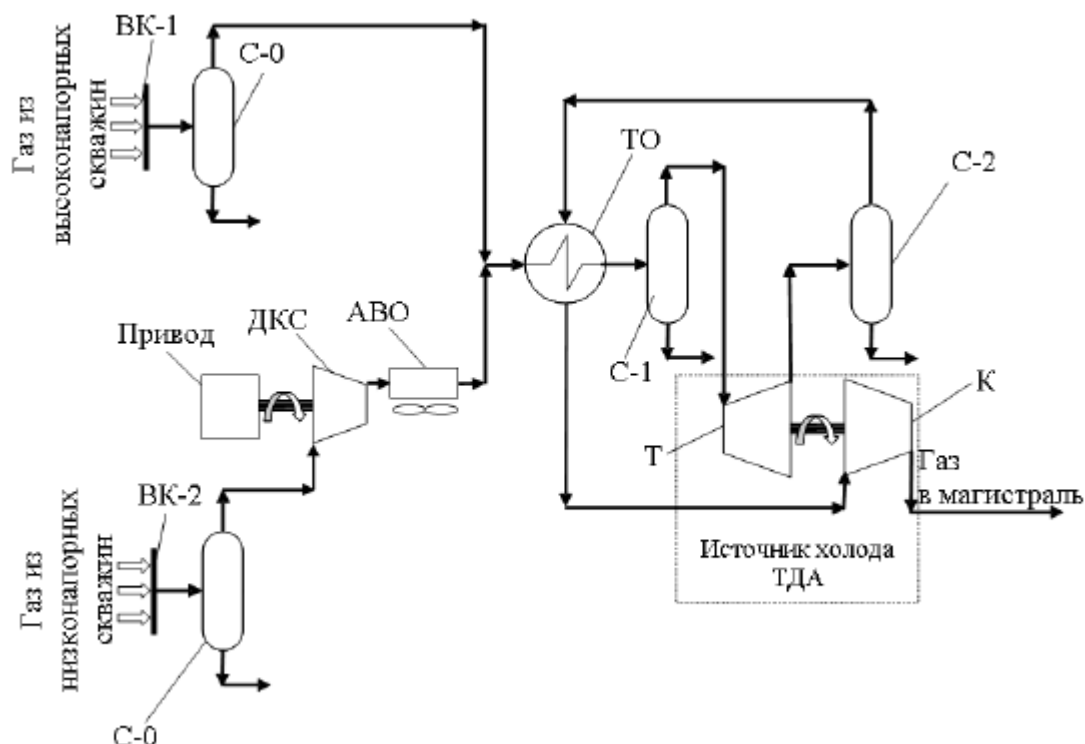


Рисунок 15 – Технологическая схема с использованием турбодетандерного агрегата и дожимного компрессора: ВК-1, ВК-2 – входные коллектора высокого и низкого давлений; С-0, С-1, С-2 – сепараторы предварительной, вторичной очистки и низкотемпературный; ДКС – дожимная компрессорная станция с приводом; АВО – аппарат воздушного охлаждения; ТО – рекуперативный теплообменник; ТДА – турбодетандерный агрегат, состоящий из турбодетандера Т и компрессора К.

В работе предложена новая схема, разработанная на основе схемы НТС с источником холода ТДА (рис. 16), отличающаяся тем, что в линию низконапорных скважин добавлен компрессор ТДА, приводом для которого служит турбина ТДА, включенная в линию высоконапорных скважин [26]. Она позволяет за счет разделения газовых потоков существенно увеличить добычу газа на месторождении, имеющем высоконапорные и низконапорные скважины.

В линию высокого давления устанавливается дополнительный турбодетандер ТДА, в линию низкого давления дополнительный компрессор ТДА, расположенные на одном валу. Предложенная модификация схемы

НТС с разделением на линии по давлению может быть использована в качестве источника холода также для схем, в которых используется дросселирующее устройство.

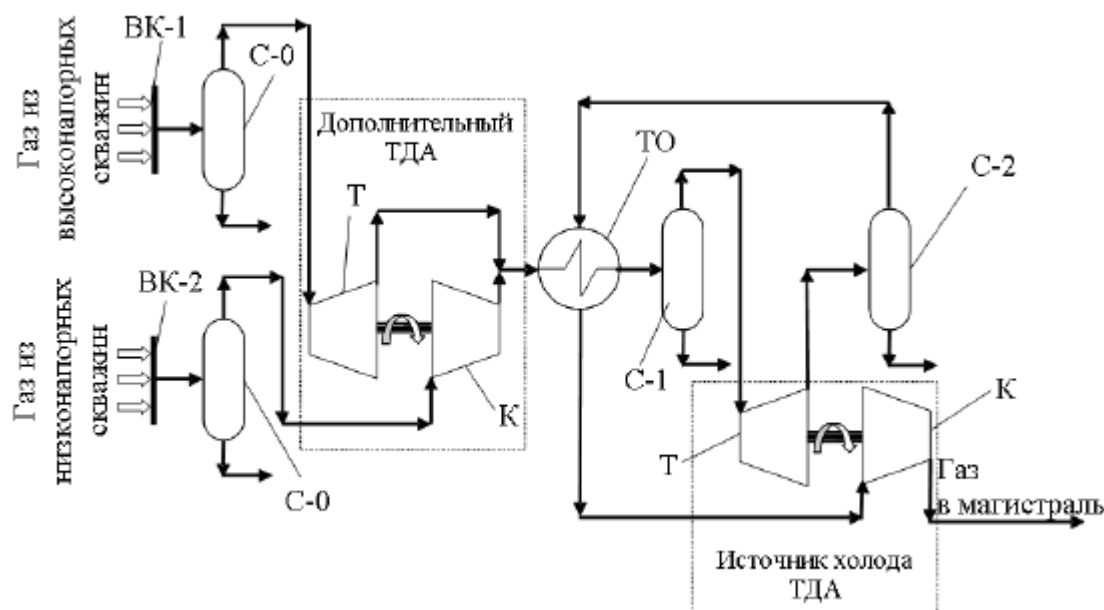


Рисунок 16 – Технологическая схема низкотемпературной сепарации с использованием дополнительного турбодетандерного агрегата: ВК-1, ВК-2 – входные коллекторы высокого и низкого давлений; С-0, С-1, С-2 – сепараторы предварительной, вторичной очистки и низкотемпературный; ТО – рекуперативный теплообменник; ТДА – турбодетандерный агрегат, состоящий из турбодетандера Т и компрессора К.

Применение предлагаемой новой схемы НТС обеспечивает добычу природного газа и газового конденсата из низконапорных скважин за счет использования имеющегося энергетического потенциала скважин высокого давления.

При этом выходная температура газа, поступающего в рекуперативный теплообменник после смешения обеих потоков, ниже температуры газа выходящего из скважин, что упрощает конструкцию рекуперативного теплообменника и уменьшает затраты, необходимые для достижения точки росы в низкотемпературном сепараторе.

Использование рассмотренной схемы может увеличить добычу газа больше чем на 50 %.

По предварительным оценкам простой срок окупаемости предлагаемого технического решения от 2 до 3 лет в зависимости от производительности скважин.

Поскольку характеристики оборудования, включаемого в предлагаемую схему НТС, зависят от конкретных значений физических параметров высоконапорных и низконапорных скважин, то в каждом конкретном случае необходимо проводить расчетное исследование с дальнейшим выбором требуемого оборудования.

					Новая малозатратная технологическая схема для газовых промыслов	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ5Б	Карсыбаеву Равилю Арсеновичу

Институт	ИПР	Кафедра	
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	131000 «Нефтегазовое дело» профиль «Сооружение и ремонт объектов систем трубопроводного транспорта»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материально-технических, финансовых затрат при проведении капитального ремонта составной части газораспределительной станции.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налоговый кодекс РФ ФЗ-213 от 24.07.2009 в редакции от 19.12.2016 № 444-ФЗ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Создание энергосберегающих технологий с использованием турбодетандеров как за счет увеличения эффективности технологических схем подготовки газа, так и внедрения новых, более совершенных конструкций проточных частей этих машин, обусловлена достижением существенного экономического эффекта.
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Продолжительность капитального ремонта – 110 дней, строительно-монтажные работы будут проводиться рабочей бригадой в составе 12 человек. Основные затраты будут идти на приобретение оборудования; сооружение зданий и сооружений, площадок и коммуникации; выполнение контрагентных услуг и оплату труда рабочим.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Расчет экономической эффективности внедрения комплекса газотурбодетандерных агрегатов на газораспределительную станцию.

Перечень графического материала

Таблицы:

- Таблица 2. Мощность проекта
- Таблица 3. Технические характеристики ГРС г. Татарск
- Таблица 4. Эксплуатационные показатели ЭТДА - 4000
- Таблица 5. Капитальные вложения в комплекс ЭТДА - 4000
- Таблица 6. Капитальные вложения в здания и сооружения
- Таблица 7. Капитальные вложения в контрагентные услуги
- Таблица 8. Капитальные вложения по проекту всего
- Таблица 9. Затраты по ежедневной доставке к месту проведения работ рабочим
- Таблица 10. Затраты на использование спецтехники
- Таблица 11. Надбавки и доплаты к заработной плате
- Таблица 12. Командировочные расходы рабочих

- Таблица 13. Общие затраты на оплату труда
- Таблица 14. Переменные издержки
- Таблица 15. Постоянные издержки
- Таблица 16. Стоимость капиталовложений

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.05.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПР	Шарф И.В.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Б	Карсыбаев Равиль Арсенович		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

По оценкам специалистов, на территории РФ располагаются более 600 объектов газораспределительных станций и газорегуляторных пунктов, располагающих условиями для строительства и эксплуатации турбодетандерных агрегатов, которые могут вырабатывать от 10 до 20 млрд. кВт·ч электроэнергии в год [27].

В настоящее время на ГРС и ГРП многочисленных промышленных предприятий европейских стран, США, Японии и др. находятся в эксплуатации турбодетандерные агрегаты различного уровня электрической мощности от 0,3 до 12,0 МВт [28].

Разрабатываются и внедряются турбодетандерные агрегаты и в странах СНГ. ООО «ТурбоДЭн» (г. Москва) разработали типоразмерный ряд энергосберегающих турбодетандерных агрегатов - ЭТДА мощностью 1500, 2500, 4000, 6000 и 8000 кВт. К примеру, с 1995 года успешно эксплуатируется одно из таких оборудования на ТЭЦ-21 (г.Москва) мощностью 6000 кВт, а в 2008 на ТЦ-23 ОАО «Мосэнерго» установили два турбодетандерных агрегата ДГА-5000 разработки ОАО «Криокор» [28].

Целью данного раздела является расчет экономической эффективности установки турбодетандерного агрегата производства ООО «ТурбоДЭн» ЭТДА – 4000 на газораспределительной станции г. Татарск Новосибирской области. В расчетах применялись данные из диссертации по смежным темам и из проектных документаций в период капитального ремонта данной ГРС.

5.1 Экономическая модель

1. Местоположение объекта внедрения - ГРС.

					Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Карсыбаев Р.А.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		Лит.	Лист
Руковод.		Брисник О.В.						
Консульт.								
Зав. Каф.		Бирков П.В.					52	15
					НИ ТПУ гр.2БМ5Б			

2. Расход проходящего через ЭТДА газа для 80 % загрузки - 50 000 н.м³/час.

3. Подогрев газа осуществляется огневым подогревателем.

4. Энергокомплекс является составной частью предприятия.

5. Производимая энергокомплексом электроэнергия продается по рыночным ценам.

6. Управление энергокомплексом осуществляется в автоматическом режиме с центрального диспетчерского пункта. Собственный персонал 3 человека. График работы - сутки через двое.

7. Амортизация энергокомплекса осуществляется линейно, в течение всего срока службы оборудования – 15 лет с момента начала эксплуатации.

Для того чтобы иметь возможность оценить сроки окупаемости, в данной работе приведены оценочные показатели стоимости поставляемого поставщиком оборудования, строительно-монтажных работ, затраты на рабочую силу.

5.2 Мощность проекта.

Характерным параметром ЭТДА-4000 является одинаковая частота вращения электрогенератора и турбодетандера 3000 об/мин [2]. Такое решение позволило упростить конструкцию установки при достаточно высоком внутреннем КПД турбодетандера.

Собственно турбодетандер - пятиступенчатый, осевой включает наружный силовой корпус и внутренний корпус-вставку. В последнюю входят: ротор с узлами подшипников и набор обойм сопловых аппаратов. Собранный вставка свободно помещается в наружный корпус и закрепляется в нем винтами. Слева к вставке крепится ограничитель максимальной частоты вращения, а справа - детали муфты соединения с рессорой привода генератора.

Подобная конструкция турбодетандера с легкоъемным внутренним корпусом-вставкой весьма удобна при монтажных работах, сборке и проведении регламентных работ.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Ротор турбодетандера установлен во внутреннем корпусе на подшипниках скольжения гидродинамического типа. Смазочно-уплотнительная система ЭТДА-4000 обеспечивает непрерывную подачу и охлаждение смазочного материала (масло типа Тп-22 или Тп-30). Для охлаждения масла используется холод газового потока после турбодетандера в специальном теплообменнике.

В качестве генератора использован обратимый двигатель СТД-3150-2РУХЛ4, синхронный, трехфазный, с бесщеточным возбуждением. Напряжение на клеммах генератора - 6,3 кВ, частота тока — 50 Гц. Электроэнергия выдается в общую энергосистему.

Установка ЭТДА-4000 изготовлена в блочно-комплектном исполнении. Мощность проекта указана в таблице 2.

Таблица 2 – Мощность проекта.

Наименование	Единица измерения	Значение
Установленная мощность	кВт·ч	2000
Установленное время эксплуатации	часов в год	8000
Объем производства	кВт·ч в год	16000000

Технические характеристики ГРС г. Татарск и турбодетандера ЭТДА-4000 приведены в таблицах 3 и 4 соответственно.

Таблица 3 – Технические характеристики ГРС Татарск.

Наименование	Значение
Диаметр входного газопровода ГРС	Д _у 150 мм.
Максимальное возможное давление в подводящем газопроводе	5,4 МПа

Продолжение таблицы 3

Фактическое (рабочее) давление в подводящем газопроводе	3,5 МПа
Минимальное рабочее давление в	2,0 МПа

подводящем газопроводе	
Давление в газопроводе на выходе из ГРС	0,6 МПа
Тип существующей ГРС	АГРС «Энергия-1»
Режим работы	круглогодичный, непрерывный
Производительность ГРС	30 тыс.м ³ /час

Таблица 4 – Эксплуатационные показатели ЭТДА-4000

Наименование агрегата	Расход газа на номинальном режиме н.м. ³ /час (V)	Давление газа на входе в детандер МПа (P ₁)	Давление газа на выходе из детандера МПа (P ₂)	Частота вращения ротора об/мин.	Вырабатываемая мощность МВт	КПД
ЭТДА - 4000	50000	3,0	0,7	3000	4,0	0,80

Срок эксплуатации агрегата – не менее 15 лет.

Нормативное число часов работы агрегата в год – 8000 часов.

Исполнение агрегата – блочно-комплектное, полной заводской готовности. Технические процессы полностью автоматизированы.

В комплект поставки ЭТДА входит:

- Детандер-генераторный блок;
- Блок системы маслоснабжения;
- Блок маслоохлаждения;
- Блок стопорно-дозировочный;
- Блок байпасный;
- Комплекс технических средств АСУ;
- Подогреватель газа (теплообменник);
- Комплект инструмента и принадлежностей;
- Комплект запасных частей.

Оборудование подключения генератора обеспечивает необходимый, согласно требованиям ПУЭ, объем защит, управления, автоматизации и сигнализации о параметрах генератора. Система автоматического управления

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

и регулирования ЭТДА-4000 – электрогидравлического типа, обеспечивает дистанционный запуск и остановку установки, вывод на рабочую частоту вращения и поддержание ее значения, аварийную остановку, контроль параметров и защиту по всем требуемым параметрам.

Схема подключения агрегата ЭТДУ-4000 на ГРС приведена на рисунке 14.

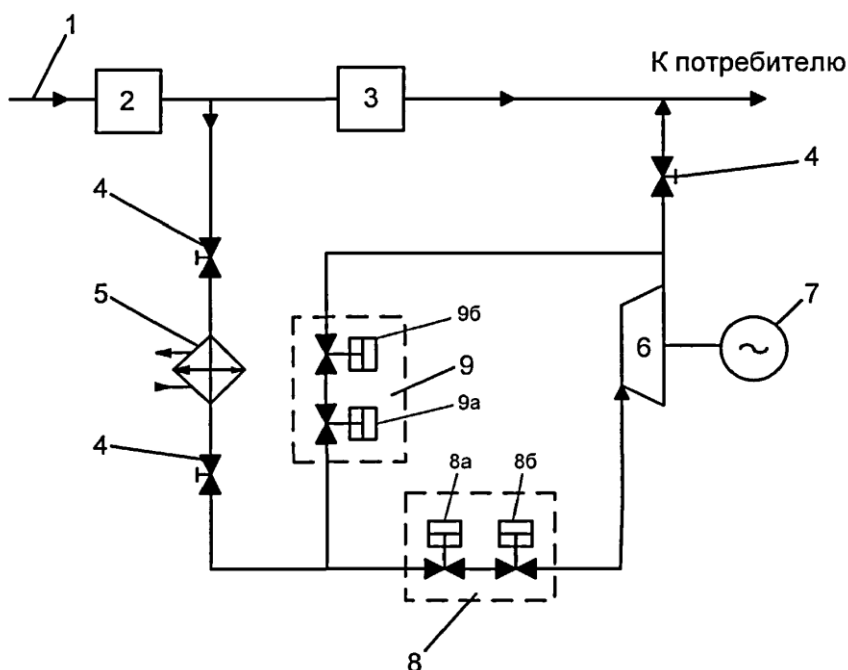


Рисунок 14. 1 - подвод газа к ГРС; 2 - узел очистки газа; 3 - ГРС; 4 - электрозадвижка; 5 - газоподогреватель (теплообменник); 6 - турбодетандер; 7 - электрогенератор; 8 - блок регулирующего клапана, где: 8а - стопорный клапан (СК), 8б - дозирующий клапан (ДК); 9 - блок байпасный, где: 9а – клапан защиты (КЗ), 9б - регулятор давления газа (РДГ).

Природный газ с давлением P , расходом V из входного коллектора, пройдя узел очистки, поступает в газоподогреватель (теплообменник). Затем из газоподогревателя (теплообменника) газ поступает через отключающую задвижку, стопорный клапан (СК) и дозирующий клапан (ДК) в детандер, где совершает работу, направленную на привод генератора. Выработанная генератором электроэнергия направляется в электрическую сеть.

После расширения в турбодетандере газ через отключающую задвижку направляется в выходной коллектор ГРП.

Для обеспечения бесперебойной подачи газа ЭТДА снабжен байпасной линией, в комплект поставки которой входят клапан защиты (КЗ) и регулятор давления газа (РДГ).

В случае аварийной остановки агрегата срабатывает стопорный клапан (СК), который перекрывает подачу газа на ЭТДА. Одновременно с закрытием СК открывается быстродействующий клапан защиты КЗ (время закрытия СК и открытия КЗ составляет 0,3 сек.) и газ в обход ЭТДА поступает в выходной коллектор ГРП.

Давление в газопроводе после ЭТДА в это время обеспечивается работой РДГ. В случае невозможности продолжения дальнейшей работы ЭТДА начинают автоматически открываться редуцирующие клапаны ГРС и постепенно закрываться РДГ. После полного закрытия клапанов РДГ и КЗ ГРС переходит на штатную работу.

В схеме работы ЭТДУ предусматривается система продувочных газопроводов, патрубки для отбора проб газа и патрубки для подачи сжатого воздуха с целью освобождения газопроводов на период ремонта от газа.

5.3 Экономический расчет при проведении капитального ремонта.

5.3.1 Затраты на оборудование, здания и сооружения.

Расчет стоимости оборудования ЭТДА-4000 приведен с учетом его транспортировки. Данные взяты из расчета внедрения установки на ГРС-4 г. Москвы в 2015 году.

Таблица 5 – Капитальные вложения в комплекс ЭТДА – 4000.

Статья	Стоимость (руб. без НДС)
Основное оборудование:	
1. Детандер;	7980000
2. Блок системы регулирования;	9945000
3. Блок байпасный;	5649000
4. Блок маслосистемы;	4844000
5. Генератор;	1648000

6. Автоматическая система управления;	4221000
7. Теплообменник.	4655000
8. Электротехническое оборудование	966000
9. Фильтры	135000
Общая стоимость	40043000

Возведение зданий и сооружений будет производить подрядная организация, которая производила капитальный ремонт данной ГРС в 2015 году по замене блока одоризации. Для монтажа комплекса турбодетандерного агрегата ЭТДА-4000 необходимы такие же здания и сооружения, а также площадки и коммуникации.

Таблица 6 – Капитальные вложения в здания и сооружения.

Статья	Стоимость (руб. без НДС)
Площадка и коммуникации	2112000
Здания и сооружения	9588000
Общая стоимость	11700000

5.3.2 Затраты на контрагентные услуги.

Перед началом работ по внедрению турбодетандерного агрегата а также при возведении здании и сооружении необходимо обратиться в организацию, представляющую контрагентные услуги. А именно: проектные услуги; корректировка конструкторской документации под параметры заказчика; разработка задания на выполнение проекта строительства ЭТДА; разработка заданий на изготовление составных элементов ТДА и взаимоувязка их характеристик; передача конструкторской документации заводам-изготовителям, осуществление авторского надзора; пуско-наладочные работы а также технологическая и биологическая рекультивация. Затраты на вышеперечисленные услуги приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Капитальные вложения в контрагентные услуги.

Статья	Стоимость (руб. без НДС)
– Проектные работы;	293000
– Пуско-наладочные работы;	360000

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

– Авторский надзор;	256000
– Техническая рекультивация;	87000
– Биологическая рекультивация;	211000
– Корректировка конструкторской документации под параметры заказчика;	56000
– Разработка задания на выполнение проекта строительства ЭТДА;	56000
– Разработка заданий на изготовление составных элементов ТДА и взаимоувязка их характеристик;	56000
– Передача конструкторской документации заводам-изготовителям.	28000
Общая стоимость контрагентных услуг	1403000

Общие капитальные вложения по проекту приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Капитальные вложения по проекту, всего.

Статья	Стоимость (руб. без НДС)
Капитальные вложения в комплекс ЭТДА – 4000	40043000
Капитальные вложения в здания и сооружения	1170000
Капитальные вложения в контрагентные услуги	1403000
Общая стоимость капитальных вложений	42616000

Срок строительства «под ключ» – 110 дней.

5.3.3 Затраты на спецтехнику

Рабочая бригада будет заселена в поселке, находящийся в 10 км. от ГРС г. Татарск. Ежедневная доставка рабочих на место производства работ осуществляется автомобилем «Камаз», вместимостью 42 ч. Расход топлива составляет 34 л./100 км. За период работ транспорт совершит 220 рейсов. Произведем расчет затрат по ежедневной доставке к месту проведения работ рабочих:

$$P_T = p/100 \times P_{TЛ} = 22 \times 34 = 748 \text{ л.}$$

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

где: P_T – расход топлива (л);

p – расстояние (км);

PT_L – расход топлива, л/100 км.

$$З_{ДТ} = P_T \times C_{ДТ} = 748 \times 35,4 = 24679,2 \text{руб.}$$

где: $З_{ДТ}$ – затраты на дизельное топливо (ДТ);

P_T – расход топлива (л);

$C_{ДТ}$ – стоимость 1л ДТ.

При проведении строительно-монтажных работ будет использован автокран для выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Выполним расчет затрат дизельного топлива для автокрана при проведении работ, при условии расхода топлива 36л./100 км., а также расхода топлива во время работы самого крана – 9,3 л./1 час.

Количество рейсов для крана составляет – 2 рейса, от вахтового поселка до места проведения работ.

$$P_T = p/100 \times PT_L = 0,2 \times 36 = 7,2 \text{ л.}$$

где: P_T – расход топлива (л);

p – расстояние (км);

PT_L – расход топлива, л/100 км.

$$З_{ДТ} = P_T \times C_{ДТ} = 7,2 \times 35,4 = 254,88 \text{руб.}$$

где: $З_{ДТ}$ – затраты на дизельное топливо (ДТ);

P_T – расход топлива (л);

$C_{ДТ}$ – стоимость 1л ДТ.

Автокран необходим на всем протяжении производства работ – 110 дней, 880 часов. Расчет расхода топлива в режиме автокрана:

$$PT_{AK} = T \times ЛЧ = 880 \times 9,3 = 8184 \text{ л.}$$

где: PT_{AK} – расход топлива в режиме автокрана;

T – время работы автокрана;

$ЛЧ$ – расход топлива в режиме работы автокрана, л./час.

$$З_{ДТ} = P_T \times C_{ДТ} = 8184 \times 35,4 = 289713,6 \text{руб.}$$

где: $З_{ДТ}$ – затраты на дизельное топливо (ДТ);

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

P_T – расход топлива (л);

$C_{ДТ}$ – стоимость 1л ДТ.

Затраты на ежедневную доставку рабочих к месту проведения работ, а также суммарные затраты на использование спецтехники представлены в таблицах 9 и 10 соответственно.

Таблица 9 – Затраты по ежедневной доставке к месту проведения работ рабочих.

Наименование	Ед. изм.	Расчет
Продолжительность смены	час	8
Состав бригады	чел.	12
Продолжительность производства работ	дн.	110
Расстояние перевозки	км.	10
Вместимость машины	чел.	42
Количество рейсов в смену	рейс/день	2
Количество рейсов общее	рейс	220
Средняя скорость движения	км/ч	49
Общее время в пути	час	88
Стоимость ежедневной перевозки рабочих	руб.	72305,20

Таблица 10 – Затраты на использование спецтехники.

Статья	Стоимость (руб. без НДС)
– Затраты на ежедневную перевозку автомобилем «Камаз» рабочей бригады к месту проведения работ	72305,2
– Затраты на использование автокрана, совместно с перевозкой из вахтового поселка	289968,48
Общая стоимость затрат на спецтехнику	362273,68

5.3.4 Затраты на оплату труда

Расчет суммы, начисленной по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда показаны в таблице 11.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Таблица 11 – Надбавки и доплаты к заработной плате.

районный коэффициент	1,25
доплата за вредность	1,08
компенсационная выплата за вахтовый метод работы	1,24
компенсационная выплата за время нахождения в пути на вахту/с вахты	1,1

Часовая тарифная ставка для монтажника составляет 80 руб./час.

Приведем расчеты заработной платы рабочих:

$$ЗП_{\text{ч}} = T_{\text{ч}} \times RK \times ДВ \times ВП \times ВР = 147,3 \text{ руб./час}$$

$T_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка;

RK – районный коэффициент;

$ДВ$ – доплата за вредность;

$ВП$ – компенсационная выплата за время нахождения в пути на вахту/с вахты;

$ВР$ – компенсационная выплата за вахтовый метод работы.

У бригады работников из 12 человек восьмичасовой рабочий день, продолжительность работ составляет 110 дней. Произведем общий расчет расходов на оплату труда:

$$\Sigma ЗП = ЗП_{\text{ч}} \times T \times q = 1555488 \text{ руб.}$$

$ЗП_{\text{ч}}$ – часовая оплата труда для одного работника;

T – время работы, 880 часов;

Q – количество монтажников, 12 человек.

Затраты на командировочные расходы работников представлены в таблице 11. Норма суточных составляет – 500 руб./ день, стоимость проживания для одного работника составляет 550 руб./день.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

Таблица 12 – Командировочные расходы рабочих

Наименование	Ед. изм.	Расчет
Продолжительность смены	час	8
Состав бригады	чел.	12
Продолжительность производства работ	дн.	110
Норма суточных	руб./день	500
Стоимость проживания в сутки	руб./день	550
Суточные	руб.	715000
Проживание	руб.	786500
Итого	руб.	1501500

Общие затраты на оплату труда представлены в таблице 13:

Таблица 13 – Общие затраты на оплату труда.

Статья	Стоимость (руб. без НДС)
– Затраты на заработную плату работников	1555488
– Затраты на командировочные расходы рабочих	1501500
Общая стоимость затрат на оплату труда	3056988

5.3.5 Постоянные и переменные издержки

Величина переменных издержек (электроэнергия, теплоноситель, масло) определяется исходя из технических параметров оборудования (см. таблицу 4).

Таблица 14 – Переменные издержки.

Наименование	Величина относительно 1 кВт·ч выработки электроэнергии
Электроэнергия	0,02 кВт·ч
Природный газ (топливный)	525 н.м ³ /ч
Машинное масло ТП-22	0,25 кг на 1 час работы

Продолжение таблицы 14

Текущий ремонт	351000 руб. на каждые 8 тыс. часов работы
----------------	---

Таблица 15 – Постоянные издержки.

Налог на имущество	2% в год от балансовой стоимости имущества
Амортизационные отчисления	3548000 руб. в год

5.4 Сумма капиталовложений в проект и оценка эффективности внедрения ЭТДУ – 4000 в ГРС

Таблица 16 – Стоимость капиталовложений

Наименование	Стоимость (руб.)
Общая стоимость комплекса ЭТДА – 4000	40043000
Капитальные вложения в здания и сооружения	11170000
Капитальные вложения в контрагентные услуги	1403000
Затраты на спецтехнику	362273,68
Заботную плату монтажникам	1555488
Командировочные расходы рабочих	1501500
Итого	56035261,68

5.5 Оценка эффективности внедрения ЭТДУ – 4000 на ГРС

- ЭТДУ при номинальных нагрузках выдает – 16000000 кВт·ч в год.
- Одноставочный тариф на электроэнергию в Новосибирской области с 01.01.2017 г. составляет - 2,42 руб./кВт·ч.
- Суммарный доход от эксплуатации – 38720000 руб./год.
- Капиталовложения в сооружение и запуск оборудования окупаются в течение 2х лет.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ5Б	Карсыбаеву Равилю Арсеновичу

Институт		Кафедра	
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	131000 «Нефтегазовое дело» / Сооружение и ремонт объектов систем трубопроводного транспорта

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования: технология, алгоритм, методика.

Объектом исследования является газораспределительная станция. Область применения в газораспределительных отраслях. Рабочим местом является дом оператора на территории газораспределительной станции и все его технологические узлы.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность.
- 1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.
- 1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования.
- 1.3. Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов.

- Вредные и опасные факторы:*
- вредные вещества;
 - производственный шум;
 - освещенность;
 - механическое травмирование;
 - электробезопасность на рабочем месте;
 - пожаровзрывоопасность;
 - повышенный уровень УФ радиации;
 - повышенный уровень ИК радиации;
 - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
 - движущиеся машины и механизмы: строительная техника, подвижные части подвижного оборудования;
 - повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
 - повышенная или пониженная температура воздуха рабочей среды;
 - повышенное значение напряжения в электрической цепи при замыкании.

2. Экологическая безопасность.
- 2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.
- 2.2. Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду.
- 2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.

- При эксплуатации газораспределительной станции воздействия на окружающую среду оказывают как производственные процессы, так и объекты постоянного и временного назначения:*
- загрязнение атмосферного воздуха;
 - нарушение гидрогеологического режима;

	– загрязнение поверхностных водных источников и подземных вод; – повреждение почвенно-растительного слоя;
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. 3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований. 3.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследований. 3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	Чрезвычайные ситуации на газораспределительной станции могут возникнуть в результате работы неисправного оборудования, стихийных бедствий и террористических атак.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. 4.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства. 4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	ТК РФ; ВРД 39-1.10-005-2000 Положение по технической эксплуатации газораспределительных станций магистральных газопроводов.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
инженер	Маланова Наталья Викторовна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Б	Карсыбаев Р.А.		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

6.1 Область применения.

Системы транспорта природного газа, в частности газораспределительные станции, являются опасными производственными объектами [29], а процесс их эксплуатации несет в себе ряд опасностей. Объектами, на которые действует риск негативного влияния эксплуатации газоперекачивающих систем, являются рабочий персонал, местные жители, жилые и промышленные объекты, а также окружающая среда.

Основными опасными и вредными производственными факторами при эксплуатации газораспределительных станций являются:

- давление газа в действующих коммуникациях;
- возможность разрушения трубопровода (элементов и оборудования), происходящего совместно с разлетом осколков металла и грунта;
- возможность возгорания продукта при разрушении трубопровода, оборудования;
- возможность появления в рабочей зоне открытого огня и термическое воздействие пожара;
- возможность взрыва газовоздушной смеси;
- повышенный уровень шума и вибраций;
- возможность появления вредных веществ (природный газ, одорант) в рабочей зоне.

Наиболее опасными техническими устройствами являются машины, технологическое оборудование, системы машин и (или) оборудования, агрегаты, аппаратура, механизмы, в которых используется, образуется, хранится, транспортируется, уничтожается природный газ.

					Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Социальная ответственность			Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Карсыбаев Р.А.								
Руковод.		Брисник О.В.							57	19
Консульт.								НИ ТПУ гр.2БМ5Б		
Зав. Каф.		Бирков П.В.								

6.2 Производственная безопасность.

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Вредные вещества. Химические вещества, технологические операции на территории газораспределительной оказывают в разной степени неблагоприятное воздействие на организм человека. К таким веществам относятся, в первую очередь, природный газ, одорант и метанол.

Природный газ состоит из метана, этана, пропана, бутана, водорода, окиси углерода, азота, углекислого газа, кислорода и вредных примесей (сероводорода, синильной кислоты). К веществам, неблагоприятно влияющим на здоровье человека, можно отнести: углеводороды, углекислый газ, сероводород, синильную кислоту. Их предельно допустимые концентрации и класс опасности [30] приведены в таблице 17. В качестве одоранта используют меркаптаны (чаще этилмеркаптан), ПДК и класс опасности которых также приведены в таблице.

Таблица 17 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ, появление которых возможно в рабочей зоне ГРС

Вещество	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Класс опасности
Углекислый газ	9000	IV
Углеводороды C ₁ –C ₁₀	300	IV
Сероводород	10	IV
Метанол	5	III
Сероводород в смеси с УВ	3	III
Меркаптаны	1	II
Синильная кислота	0,3	I

Вышеперечисленные вещества можно классифицировать как яды [31], взаимодействие с которыми может привести к различным пагубным

последствиям для здоровья, таким как тошнота, недомогание, повышение температуры, затруднение дыхания, раздражение слизистых.

Производственный шум. Рабочий процесс на газораспределительной станции происходит в условиях повышенного шумового фона. Источником шума являются процессы, происходящие с газом в регуляторах давления и сужающих устройствах. Уровень шума выше нормированных значений оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье человека. Длительное воздействие шума снижает остроту слуха, может являться причиной его потери, изменяет кровяное давление, ухудшает зрение, нарушает координацию движений. Согласно системам стандартов безопасности труда [32] нормированный уровень шума для человека составляет 80 дБ, в узле редуцирования газа шум колеблется в пределах 105-110 дБ [33].

Освещенность. Освещенность рабочего места оказывает значительное влияние на рабочий процесс. Чрезмерное или же недостаточное освещение может привести к негативным последствиям для здоровья персонала, снижает производительность труда вследствие ухудшения условий работы.

Механическое травмирование. Наиболее опасными участками относительно получения травм механическим способом являются зоны, расположенные в непосредственной близости от трубопроводов и оборудования, работающего под давлением, куда также входит и рампа азота [34], где находятся баллоны, заполненные азотом, необходимым для продувки трубопровода при проведении ремонтных операций. Возможность разрушения трубопровода, его элементов и оборудования, происходящего совместно с разлетом осколков металла и грунта, может причинить вред здоровью, вплоть до смертельного исхода.

Электробезопасность на рабочем месте. Опасность поражения электрическим током возможна при работе с любым электрооборудованием. На таких объектах как газораспределительная станция электробезопасности следует уделять особое внимание, так как в воздухе рабочей зоны возможно

					Социальная ответственность	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

появление взрывопожароопасных веществ [35], при определенной концентрации которых в воздухе и появлении искры возможен взрыв или возгорание.

Причины поражения электрическим током:

- прикосновение к токоведущим элементам;
- ошибочные действия персонала;
- нарушение изоляции токоведущих элементов;
- метеорологические условия (удар молнии);
- авария.

Пожаровзрывоопасность. Основным поражающим фактором при аварии на ГРС является тепловое излучение при струйном горении или горении в котловане [29]. Реализация сценариев аварий со взрывом газовоздушной смеси не рассматривается, так как природный газ на 90% и более состоит из метана, который при нормальных условиях легче воздуха и поэтому образование устойчивого взрывопожароопасного облака маловероятно. Это подтверждают и статистические данные по авариям на ГРС [34]. Однако всё это полностью не исключает возможность взрыва. Другими источниками возгорания могут послужить неосторожное обращение с огнем или электрооборудованием, короткое замыкание.

Основные источники выделения взрывопожароопасных веществ:

1. Предохранительные устройства. В случае повышения давления в газопроводе выше допустимых пределов срабатывает клапан СППК, и часть газа через свечу сбрасывается в атмосферу до того момента, пока давление в трубе не достигнет проектных значений.

2. Нарушения герметичности оборудования (дефекты материалов и строительно-монтажных работ, коррозия, не соблюдение правил эксплуатации, окончание нормативного срока службы уплотнений запорной арматуры и оборудования).

3. Сброс давления в трубопроводе и оборудовании при проведении ремонтных работ. Для снижения давления в ремонтируемом участке, газ,

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

находящийся во внутренних полостях трубопровода и оборудования сбрасывается в атмосферу через свечу.

Таблица 18 – Характеристика взрывопожароопасных веществ, появление которых возможно в воздухе рабочей зоны газораспределительной станции [36]

Наименование	Температура, °С		Предел взрываемости, мг/л	
	вспышки	самовоспламенения	нижний	верхний
Метан	–	537	29	113
Этан	–	515	31	194
Пропан	–	470	31	200
Бутан	–	372	33	225
Сероводород	–	246	57	650
Метанол	11	386	73	484

6.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования.

При реконструкции газораспределительной станции и внедрении турбодетандерного агрегата мы сталкиваемся преимущественно со сварочно-монтажными работами. При проведении СМР наиболее вредными факторами являются:

- Повышенный уровень УФ радиации;
- Повышенный уровень ИК радиации;
- Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- Движущиеся машины и механизмы: строительная техника, подвижные части подвижного оборудования;
- Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
- Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей среды;

					Социальная ответственность	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– Повышенное значение напряжения в электрической цепи при замыкании.

6.2.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов.

Вредные вещества. Мероприятия по снижению загазованности и защиты организма человека от негативного воздействия вредных веществ:

1. Исключение источников появления вредных веществ (соблюдение правил эксплуатации, противокоррозионная защита, своевременная замена уплотнений оборудования и запорной арматуры).
2. Применение газоанализаторов для контроля загазованности.
3. Вентилирование помещений, в которых возможно появление вредных веществ, для снижения их концентрации в воздухе рабочей зоны.
4. Использование средств индивидуальной защиты (противогазы, респираторы, спецодежда, изолирующие костюмы, рукавицы, перчатки, очки, маски).
5. Исключение необходимости присутствия человека или снижение времени его работы путем автоматизации процессов и применения оборудования для дистанционного управления.

Производственный шум. Методы снижения уровня шума в рабочей зоне газораспределительной станции:

1. Расположение оборудования, являющегося источником шума, в отдельных блоках и зданиях, стены которых выполняют из материалов, обеспечивающих необходимую звукоизоляцию.
2. Применение средств дистанционного управления рабочим процессом, которые исключают необходимость длительного присутствия рабочего персонала в зоне воздействия акустического шума обслуживающего персонала продолжительное время находиться в зоне воздействия.
3. Использование средств индивидуальной защиты. Согласно инструкциям по технике безопасности предприятия применяются вкладыши, представляющие собой мягкие тампоны, пропитанные смесью парафина и

					Социальная ответственность	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

воска, жесткие вкладыши из резины, звукоизолирующие наушники, звукоизолирующие шлемы.

Освещенность. Необходимые условия освещенности достигаются путем использования как естественного, так и искусственного освещения. Естественное освещение в производственных помещениях газораспределительной станции обеспечивается наличием необходимого количества окон, но это осуществимо только в дневное время. Для поддержания освещенности в пределах норм темное время суток пользуются искусственным освещением, светильники которого должны быть выполнены во взрывозащищенном исполнении. Во время ремонтных работ используется местное освещение. Для этого применяются переносные светильники на аккумуляторе во взрывозащищенном исполнении.

Также должны быть использованы аварийное освещение для продолжения работы при отключении рабочего освещения (используются лампы, для которых применяется автономное питание электроэнергией), эвакуационное освещение для эвакуации людей из помещений при аварийном отключении рабочего освещения, сигнальное освещение для фиксации границ опасных зон, охранное освещение для указания границ охраняемой территории газораспределительной станции.

Механическое травмирование. Для поддержания давления в нормативных пределах необходима установка оборудования для отслеживания давления – манометров, оборудования для поддержания давления в рабочем диапазоне – предохранительные клапаны и регуляторы давления. Также особое внимание следует уделять состоянию трубопроводов и оборудования, не допускать коррозии и других повреждений, своевременно производить осмотры и ремонты, заменять неисправные и выработавшие свой ресурс системы.

Следует опасаться движущихся машин и механизмов, движущихся частей машин и механизмов, соблюдать технику безопасности при работе с ними, использовать средства индивидуальной защиты. Необходимо

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

следовать правилам безопасности и при работе на площадках, находящихся выше уровня земли, находящихся, например, в блоке узла переключения.

Электробезопасность на рабочем месте.

Меры защиты:

1. Применение защитного зануления, защитного заземления, защитного отключения.
2. Обеспечение изоляции, ограждение и недоступность электрических цепей.
3. Использование предупредительных плакатов и знаков безопасности.
4. Установка молниеотводов.
5. Проведение инструктажей и обучения персонала безопасным методам работы с электроприборами.
6. Использование средств индивидуальной защиты: диэлектрических перчаток и бот, диэлектрических резиновых ковров, инструментов с изолированными ручками.

Пожаровзрывоопасность.

Методы снижения взрывопожароопасности:

1. Исключение появления источников утечки вредных веществ (соблюдение правил эксплуатации, противокоррозионная защита, своевременная замена уплотнений оборудования и запорной арматуры).
2. Вентилирование помещений, в которых возможно появление взрывопожароопасных веществ, для снижения их концентрации в воздухе рабочей зоны.
3. Применение газоанализаторов для контроля загазованности.
4. Использование электрооборудования во взрывобезопасном исполнении.
6. Использование инструмента в искробезопасном исполнении.

					Социальная ответственность	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

7. Оптимальное расположение зданий и сооружений согласно генеральному плану газораспределительной станции, которое направлено на сокращения ущерба от возможного пожара и/или взрыва.

На случай возникновения ситуации, когда предотвратить появление пожара всё же не удалось, на территории газораспределительной станции должны находиться первичные средства пожаротушения: емкость с песком, ведро, лопата, багор, асбестовые покрывала, ручные огнетушители. Должны быть установлены планы эвакуации персонала.

6.3 Экологическая безопасность.

6.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.

На атмосферу. Загрязняющие вещества могут попадать в атмосферу при нарушениях в работе оборудования, износе уплотнений, повышения давления в трубопроводе и оборудовании выше допустимых пределов, вследствие чего часть газа сбрасывается в атмосферу через свечу путем открытия предохранительных клапанов, испарения части одоранта во время его перемещения из емкости, в которой он транспортировался в емкость его хранения. Проводятся и запланированные залповые выбросы вредных веществ в атмосферу (стравливание газа из газопроводов и технологического оборудования на ГРС при освидетельствовании и регламентных плановых ремонтов).

Таблица 19 – Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [37].

Вещество	Величина ПДК, мг/м ³		Класс опасности
	максимально разовая	средне-суточная	
Азот (II) оксид	0,4	0,06	III
Азота диоксид	0,085	0,04	II
Аммиак	0,2	0,04	IV

Продолжение таблицы 19

Метанол	1	0,5	III
Углерод оксид	5	3	IV
Пропан-1-ол	0,3	-	III
Метилбензол	0,6	-	III
Октан-1-ол	0,6	0,2	III
Этанол	5	-	IV
Углеводороды предельные C12-19 (растворитель РПК 265П и др.) /в пересчете на С/	1	-	IV

На литосферу. При осуществлении любой производственной деятельности на литосферную среду оказывается негативное воздействие, связанное с образованием большого количества отходов производства.

На гидросферу. При эксплуатации газораспределительной станции некоторые загрязняющие вещества, такие как, например, метанол, масла, одорант, могут нанести вред гидросфере, попав в сточные воды. Причиной этого могут послужить ремонтные работы, несоблюдение правил эксплуатации оборудования, износ уплотнений оборудования, сосудов, запорной арматуры, аварии.

Таблица 20 - Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [38].

Вещество	Величина ПДК, мг/л	Класс опасности
Бензин	0,1	III
Бензол	0,01	I
Бутановая кислота	0,7	IV
Гексахлорбутан	0,01	III
1,2-Дибромпропан	0,1	III

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

Продолжение таблицы 20.

2,4-Динитрометилбензол	0,5	II
Жирные кислоты синтетические C5-20	0,1	IV
Керосин технический	0,01	IV
Метанол	3	II
Октан-1-ол	0,05	III
Метилбензол	0,5	IV
Пропан-1-ол	0,25	IV
Ртуть	0,0005	I
Циклогексан	0,1	II
Этановая кислота	1	IV

На селитебную зону. Опасные производственные объекты, в число которых входит и ГРС должны располагаться на достаточном для обеспечения безопасности населения и невозможности проникновения на объект расстоянии от жилых зон.

6.3.2 Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду.

В процессе эксплуатации объекта негативное влияние приходится на атмосферу, путем выброса загрязняющих веществ из узлов редуцирования путем стравливания газа через предохранительные клапаны. На земельные ресурсы, грунтовые воды, поверхностные стоки и недра путем слива одоранта и излишек конденсата.

6.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.

При проведении работ по капитальному ремонту воздействие на земельные ресурсы носит временный, но неизбежный характер.

Для снижения негативного воздействия на земельные ресурсы предусматриваются следующие мероприятия:

В период проведения капитального ремонта

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

- Регулирование двигателей дорожных машин и механизмов на экономное сжигание топлива;
- Осуществление заправки и обслуживание строительной техники на стационарных АЗС;
- Запрещение использования неисправных, пожароопасных транспортных средств;
- Использование существующих дорог для проезда техники к строительной площадке;
- Использование на участках производства работ контейнеров для временного хранения образующихся строительных отходов;
- Своевременный вывоз мусора и строительных отходов на специализированные полигоны во избежание захламления территории производства работ;
- Рациональное и эффективное использование территории в границах отвода;
- Запрещение деятельности, не предусмотренной технологией производства работ по капитальному ремонту ГРС;
- 100% контроль сварных стыков участков трубопроводов всех категорий физическим методом с последующим испытанием на прочность и проверкой на герметичность;
- Для защиты трубопроводов от почвенной коррозии предусматривается наружная антикоррозионная изоляция и электрохимическая защита.

В период эксплуатации

- Автоматическое регулирование основных технологических параметров, аварийной и предупредительной сигнализации их нарушения и отключение аварийных участков;
- Использование на территории ГРС контейнеров для временного хранения образующихся отходов;

					Социальная ответственность	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Благоустройство и озеленение площадки ГРС с устройством газонов.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

Чрезвычайные ситуации, происходящие на опасных производственных объектах, в частности на газораспределительных станциях можно разделить на следующие ЧС: стихийного, социального, экологического и техногенного характера [29].

Наиболее частой является ЧС техногенного характера. В основе аварий могут лежать как технические причины (износ оборудования, его разрушение, нарушение технологического процесса, отказ электроники и механических средств предотвращения появления опасных факторов, таких как повышение давления), так и человеческий фактор.

6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследований.

Опасность, связанную с возможными авариями на объекте при реконструировании ГРС представляют:

- Участки входного и выходного газопровода;
- Межблочные технологические газопроводы;
- Емкость сбора конденсата;
- Емкость хранения одоранта.

6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Для того, чтобы уменьшить вероятность возникновения ЧС и повысить устойчивость объекта проводятся следующие мероприятия:

1. Организация технической диагностики оборудования, коммуникаций, их техническое обслуживание и ремонт.
2. Использование современных приборов контроля и сигнализации

3. Проведение периодических и внеочередных инструктажей с обслуживающим персоналом, медицинских обследований работников на предмет соответствия их здоровья установленным требованиям.

4. Соблюдение всех правил и требований работы с оборудованием, неукоснительное соблюдение согласованных технологических режимов работы оборудования.

Для предотвращения ЧС социального характера (террористический акт) территория ГРС оборудуется системами видеонаблюдения, сигнализации, а также огораживается по периметру. Персонал проходит инструктажи по способам противодействия преступникам и правилам поведения в подобных ситуациях. Проводятся периодические учения с задействованием в них охранной службы предприятия, МЧС и полиции.

Минимизация последствий ЧС экологического и стихийного характеров обеспечивается еще на стадии проектирования газораспределительной станции. Место расположения и планировка объекта определяются в зависимости от тектонической активности, формы рельефа, свойств грунта, наличия поблизости разного рода растительности и близости к населенным пунктам. Для защиты от попадания молнии на территории объекта устанавливается молниеотвод, а для предотвращения распространения огня на территорию ГРС вокруг нее по всему периметру вспахивается полоса земли, удаляется сухая растительность и выкашивается трава.

6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

6.5.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

В соответствии с нормативными документами [8], к работе на газораспределительной станции допускаются только лица, достигшие 18-летнего возраста, которые прошли медицинский осмотр и не имеют противопоказаний, обученные безопасным методам ведения работы,

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

прошедшие инструктаж на рабочем месте и получившие допуск к самостоятельной работе. Все работники обязаны использовать спецодежду, спецобувь, иные средства индивидуальной защиты в соответствии с нормами.

Рабочий персонал, в соответствии с федеральным законом от 28.12.13 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», ст.147 ТК РФ и ст.117 ТК РФ, получает надбавку к заработной плате в размере не менее 4% от оклада и дополнительный оплачиваемый отпуск в размере 7 календарных дней, как работники занятые на работах с вредными или опасными условиями труда. Работники имеют право на досрочную пенсию, а работодатель обязан перечислять повышенные взносы в пенсионный фонд.

6.5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Для наиболее безопасного и эффективного ведения работ рабочее место должно быть правильно организовано. Это касается как расположения предметов на рабочем столе, так и расстановки оборудования на всей территории газораспределительной станции. Должен быть обеспечен наиболее удобный и быстрый доступ к оборудованию.

При расположении зданий и сооружений учитываются стороны света, рельеф местности и роза ветров. Это необходимо для того, чтобы обеспечить благоприятные условия для естественного освещения, проветривания помещений, минимизации последствий снежных заносов, избежать скопления газа в котловинах при его утечке.

Необходимо обеспечить рациональное размещение зданий и сооружений ГРС: расположить административно-хозяйственные здания со стороны наибольшего движения автотранспорта; бытовые помещения – ближе к проходным; здания и сооружения с производствами повышенной пожарной опасности, в том числе котельную – с подветренной стороны по отношению к остальным зданиям.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской диссертационной работе поставлена и решена научно-практическая задача, направленная на повышение эффективности использования турбодетандеров в технологических схемах для газовой промышленности с целью улучшения эксплуатационных характеристик газовых комплексов.

Решение этой задачи позволило получить следующие важные научные и практические результаты:

1. Предложена принципиальная схема утилизационного турбодетандерного агрегата в комплексе с воздушной климатической системой для работы на газораспределительной станции. Экономия природного газа за счет отсутствия подогрева помещений газовыми котлами составит около 41 тыс.м³ в год для станции с тепловым потреблением 100 кВт.

2. Предложена принципиальная схема утилизационного турбодетандерного агрегата с отборами газа для потребителей разного давления, который вырабатывает электроэнергию более чем в 2 раза по сравнению с обычной конструкцией.

3. Создан метод определения номинальных параметров утилизационной турбодетандерной установки с учетом переменных режимов работы газораспределительной станции, что позволило увеличить годовую выработку электроэнергии на 14-40 % в зависимости от конструкции ТД по сравнению с обычным подходом, когда в качестве номинальных параметров принимаются значения, усредненные по году.

					Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.		Карсыбаев Р.А.			Заключение			Лит.	Лист	Листов	
Руковод.		Брисник О.В.								82	1
Консульт.								НИ ТПУ гр.2БМ5Б			
Зав. Каф.		Бирков П.В.									

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Епифанова В.И. Компрессорные и расширительные турбомашины радиального типа / В.И. Епифанова. – М.: МВТУ им. Н. Баумана, 1998. – 376 с.
2. Трухний А.Д. Термодинамические основы использования утилизационных турбодетандерных установок / А.Д. Трухний // Вестник МЭИ. – 1999. - №5. – С. 62-66.
3. Кубанов А.Н. Перспективы использования турбохолодильной техники на объектах добычи газа / А.Н. Кубанов, В.А. Хетагуров, Ф.М. Дедученко // Газовая промышленность. – 2004 – № 12. – С. 65–68.
4. Гухман Л.М. Подготовка газа северных газовых месторождений к дальнему транспорту / Л.М. Гухман. – Л.: Недра, 1980. – 161 с.
5. Пятничко А.И. Эффективная выработка электроэнергии на ГРС и ГРП при использовании перепада давлений газа / А.И. Пятничко, С.П. Крушневич // Технические газы. – 2012. – № 4.– С. 48–51.
6. Капица П.Л. Турбодетандер для получения низких температур и его применения для ожижения воздуха / П.Л. Капица // ЖТФ. – 1939. – Т. 9, Вып. 2. – С. 99–123.
7. Ширковский А.И. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений / А.И. Ширковский. – М.: Недра, 1979. – 303 с.
8. Твердохлебов В.И. Агрегаты блочные турбодетандерные типа БТДА-5-100 СУГ, карта технического уровня и качества продукции, ВНПО "Союзтурбогаз" / В.И. Твердохлебов // Надежное оборудование для газовой промышленности. – 2006 – № 29.– С. 30–36.

					Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Карсыбаев Р.А.			Список использованных источников		Лит.	Лист	Листов	
Руковод.		Брисник О.В.							83	5
Консульт.							НИ ТПУ гр.2БМ5Б			
Зав. Каф.		Бирков П.В.								

9. Гуревич Г.Р. Сепарация природного газа на газоконденсатных месторождениях. / Г.Р. Гуревич. – М.: Недра, 1982. – 200 с.
10. Язык А.В. Турбодетандеры в системах промышленной подготовки природного газа / А.В. Язык. – М.: Недра, 1977. – 73 с.
11. Язык А.В. Системы и средства охлаждения природного газа / А.В. Язык. – М.: Недра, 1986. – 200 с.
12. Бумагин Г.И. Криогенные машины: учебное пособие / Г.И. Бумагин. – Омск: ОмГТУ, 2007. – 216 с. – ISBN 5-8149-0492-5.
13. Берлин М.А. Переработка природных и нефтяных газов / М.А. Берлин, В.Г. Гореченков, Н.П. Волков. – М.: Химия, 1981. – 473 с.
14. Бекиров Т.М. Технология обработки газа и конденсата / Т.М. Бекиров, Г.А. Ланчаков. – М.: Недра, 1999. – 596 с.
15. Степанец А.А. Энергосберегающие турбодетандерные установки / А.А. Степанец; под ред. А.Д. Трухня. – М.: "ООО «Недра-бизнесцентр»", 1999. – 258 с.
16. Гельман М. Электроэнергия из газовой трубы / М. Гельман // Промышленные ведомости. – 2003. – № 6. – С. 13–18.
17. Твердохлебов В.И. Утилизационные турбоустановки для ГРС и КС / В.И. Твердохлебов, В.П. Мальханов // Газовая промышленность. – 1985. – № 7. – С. 57–66.
18. Зарницкий Г.Э. Теоретические основы использования энергии давления газа / Г.Э. Зарницкий. – М.: Недра, 1968. – 297 с.
19. Аксенов Д.Т. Выработка электроэнергии и «холода» без сжигания топлива / Д.Т. Аксенов // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2003. – № 6. – С. 21–25.
20. Давыдов А.Б. Расчет и конструирование турбодетандеров / А.Б. Давыдов, А.Ш. Кабулашвили, А.Н. Шерстюк. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.

					Список использованных источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

21. Розеноер Т.М. Расчет турбодетандера. Методические указания по курсу "Турбомашины низкотемпературной техники"/ Т.М. Розеноер. – М.: Изд-во УНЦ МГТУ им. Н. Баумана. – 2002. – 80 с.
22. Сравнение различных способов подогрева газа в детандер – генераторном агрегате / В.С. Агабабов, И.В. Галас, Е.В. Джураева [и др.] // Теплоэнергетика. – 2003. – № 6. – С. 46–50.
23. Кэрролл Д. Гидраты природного газа / Д. Кэрролл ; перевод с англ. – М.: Премиум Инжиниринг, 2007. – 316 с.
24. Данилов А.А. Газораспределительные станции / А.А. Данилов, А.И. Петров. – СПб.: Недра, 1997. – 240 с.
25. Бекиров Т.М. Технология обработки газа и конденсата / Т.М. Бекиров, Г.А. Ланчаков. – М.: Недра, 1999. – 596 с.
26. Шубенко А.Л. Совершенствование схемы низкотемпературной сепарации природного газа для месторождений с разноманомными скважинами / А.Л. Шубенко, В.П. Сарапин // Проблемы машиностроения. - Харьков: ИПМаш, 2015. – Том 18 4/1. – С. 62-66. – ISSN 0131-2928.
27. А.М.Сироткин, Е.Н.Туревский, Ю.А.Лаухин и др. «Техника и технология промышленной обработки углеводородного сырья», «Газовая промышленность», №6, 2008 г., М.
28. В.И.Твердохлебов, В.П.Мальханов «Утилизационные турбоустановки для ГРС и КС», «Газовая промышленность», №7, 1985 г., М.
29. ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97
30. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
31. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Взамен ГОСТ 12.0.003-74; Введ. 2017-01-03.

					Список использованных источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

32. ГОСТ 12.1.003 – 83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – Взамен ГОСТ 12.1.003-76; Введ. 1984-30-06.

33. Чайницын Г.А. Эксплуатация газораспределительных станций магистральных газопроводов. М.: Недра, 1991. – 168 с

34. ПБ 12-529-03 Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления

35. ГОСТ Р 51330.19-99. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 20. Данные по горючим газам и парам, относящиеся к эксплуатации электрооборудования. – Взамен ГОСТ Р 51330.19-94; Введ. 2001-01-01.

36. ВРД 39-1.10-005-2000 Положение по технической эксплуатации газораспределительных станций магистральных газопроводов.

37. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

38. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

39. I. Rubtsov, “Joy of a liquefied substance,” Éxpert, No. 45, 105–114 (2005).

40. K. Yu. Chirkov, “Use of liquefied natural gas in transport,” in: Ser. XM-6. Cryogenic and Vacuum Engineering, TsINTIkhimneftemash (1987).

41. I. F. Kuz'menko and V. A. Peredel'skii, “Production equipment for cryogenic units of liquefied natural gas,” Future and Experience of Using Liquefied Natural Gas in Gazprom Facilities: Mater. NTS OAO Gazprom, Moscow: IRTs Gazprom (2002).

42. B. D. Krakovsky, V. A. Martynov, O M. Popov, et. al., “Natural gas liquefier,” in: Eighth Cryogenics 2004 IIR Internat. Conf., Czech Republic: ICARIS Ltd (2004).

43. A. K. Grezin, G. I. Bumagin, E. P. Movchan, et al., “Analysis of different schemes for liquefying natural gas,” Cryogenic and Refrigeration

					Список использованных источников	Лист
						86
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Equipment and Technology, Coll. Sci. Works, Vol. 1, Part 1. Sib. Reg. Sect. MAKh. Omsk (2012).

44. A. P. Klimenko, Liquefied Natural Gas [in Russian], Nedra, Moscow (1974).

45. S. G. Serdyukov, Yu. M. Strel'tsov, D. N. Loginov, et al., "Effective method for liquefying and distributing natural gas," Gaz. Prom., No. 10, 29–30 (2011).

46. I. F. Kuz'menko, A. L. Dovbish, R. V. Darbinya, et al., "Efficient device for liquefying natural gas based on AGNKS using an open Klimenko cycle," Tekhnich. Gasy, No. 4, 25–28 (2006).

47. G. I. Bumagin and V. I. Surikov, Electrogasdynamic Energy Converters: Physical Principles and Field of Application: Teaching Aid [in Russian], Izd. OmGTU, Omsk (1999).

48. I. B. Rubashov and Yu. S. Bortinkov, Electrogasdynamics [in Russian], Atomizdat, Moscow (1971).

49. P. Musgrove, "Electrogasdynamic refrigeration," Phys. Bulletin, 591–594 (1972).

50. G. I. Bumagin and V. A. Ivanov, "Analysis of processes in stages of an EGD-generator expander of considerable productivity," Élektron. Obrab. Mater., No. 3 (203), 72–78 (2009).

					Список использованных источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Раздел ВКР, выполненный на английском языке

Глава 1

Обзор литературы

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Б	Карсыбаев Равиль Арсенович		

Консультант кафедры _____ ТХНГ _____:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доц. каф. ТХНГ	Брусник Олег Владимирович	К.п.н.		

Консультант – лингвист кафедры _____ ИЯПР _____:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ИЯПР	Коротченко Татьяна Валериевна	К.ф.н.		

1 Literature review

Two main technologies have been developed in world practice for transporting natural gas (NG): pumping through pipelines and transportation of liquefied NG (LNG). According to some data, transportation of NG over a considerable distance in the liquid state, for example, by water transport, appears to be markedly more suitable than by the pipeline method of transportation [39].

In the world, the proportion of production and consumption of LNG has grown steadily over the last 30 years [40]. In the contemporary stage of technology development, the most promising for obtaining LNG is use of the compressed energy of NG [41-42].

In order to produce LNG, low-temperature (cryogenic) natural gas liquefiers (NGL) are necessary, on whose cold-producing elements (cold generators) the efficiency of liquefier operation mainly depends [43].

The first commercial NGL, constructed in our country in 1954 according to the cascade principle (Pict cycle) included three cooling cycles in which the cooling agents used were ammonia, ethylene and methane. The main cold producing process in these cycles was isothermal gas compression followed by throttling. Later, a single-flow cycle in a propane– ethane–methane mixture was suggested [44], and here a relatively large fraction of LNG output (12–22%) was achieved with a relatively low specific energy consumption (0.6–0.8 kW·h/kg LNG). The main disadvantage of these LNG schemes is a requirement for using additional compressors: three in three-flow and one in single-flow schemes. In addition, in these installations there is no use of the internal energy of compressed NG since there is throttling of it.

In 1996, in AO Sigma-Gas (St. Petersburg) a unit was created for NG liquefaction based on an a vortex tube without additional cooling cycles [45]. The

					Повышение эффективности работы газораспределительных станций путем утилизации энергии природного газа в системе газораспределения				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Обзор литературы		Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Карсыбаев Р.А.							
Руковод.		Брисник О.В.						89	9
Консульт.							НИ ТПУ гр.2БМ5Б		
Зав. Каф.		Бирков П.В.							

main advantage of this installation is the absence of units with moving mechanical parts, and consequently simplicity of construction and operating reliability. However, the installation also has serious drawbacks, one of which is the low fraction of LNG output (3–6%) with a pressure drop in the gas distribution station (GDS) from 5–7.5 MPa in the main gas pipeline to 0.3–1.2 MPa in the gas distribution network. The low fraction of LNG output is due to the large volume of gas extracted from the main pipeline, and as a consequence the high thermal load in heat exchange equipment, increasing by a factor of four to six the surface area of heat exchangers (compared with units based on turbo-expanders).

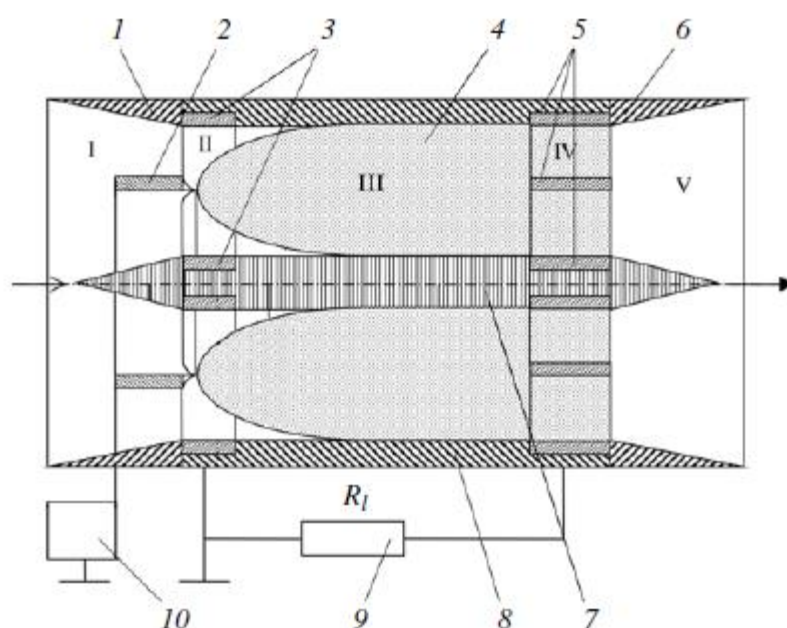


Fig. 15. – Fundamental layout of an EGD-G-E with a single stage: 1) nozzle unit; 2) emitter electrode; 3) extraction electrode; 4) channel; 5) collector electrode; 6) diffuser; 7) flow-around central body; 8) body; 9) load resistance; 10) high voltage source (HVS).

In the middle of the 1990s, Russian enterprises specializing in creating cryogenic units set about developing LNG with a productivity of 4 tons/h of LNG based on gas expansion in expander-compressor turbo-units. These installations provide a high fraction of LNG output (18–22%) even without additional external cooling circuits, and this leads to a sharp reduction in the volume of gas taken from the main pipeline, and to a reduction in the thermal load in heat exchangers. It is

most effective to locate these LNG in large GDS where there is a pressure drop, i.e., from a pressure drop in the main pipeline of 5–7.5 MPa to a pressure drop in the gas distribution network of 0.3–1.2 MPa. In this case, the energy expended in producing LNG is at a minimum (normally it does not exceed 0.05 kW·h/kg) since it is only governed by expenditure in adsorbent regeneration and compression of part of the gas evaporated during throttling to the pressure in the gas pipeline of the low-pressure GDS.

Nonetheless, users consider that location of NGL with a turbo-expander in GDS leads to a reduction in the reliability factor for gas networks that is connected with the constant requirement for servicing the turbo-expander.

Currently, due to the relative complexity of operation and high cost of expander-compressor turbo-units a number of organizations, including Kriogenmash, have set about developing NGL based on the Klimenko cycle [45], but using new more effective mixtures. However, as previously, in this cycle there is no use of the internal energy of compressed NG and additional compressors are used.

Specialists of the Omsk State Technical University and NTK Kriogennaya Tekhnika have proposed a NGL with simultaneous LNG production and use of compressed NG internal energy of a nearby GDS using an electrogasdynamic generator-expander (EGD-G-E). In contrast to traditional mechanical expanders in an EGD-G-E there are no moving mechanical parts, i.e., only the flow of expanding gas moves. Here with a reduction in gas temperature and pressure according to an adiabatic rule the internal energy of compressed gas is converted directly into electric energy that may be transferred to a power network or used, for example, in compressors. In this case, there is no requirement either for a lubrication system, or for constant servicing of the unit. An EGD-G-E operates almost noiselessly and it has a high reliability and operating life. The principle of EGD-G-E operation is based on the force interaction of a unipolar charged flow of cooling agent with an electric field [46-48]. Charging of the flow is produced by means of a “cold” corona discharge. As a rule, EGD-G-E is a multistage

					Обзор литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

development. Previously, both in Russia and abroad the main schemes for EGD-G-E stages have been based on a system of electrodes emitter (needle) – extraction electrode (concentric rings) – collector (concentric rings). All the theoretical and experimental studies have been carried out on this model whose basic disadvantage is the low convective currents that form around the emitter, and as a consequence the low power extracted by a single stage (up to 30 W). Therefore, in order to expand considerable volumes of gas multistage models were constructed with parallel-sequential connection of the stages [49].

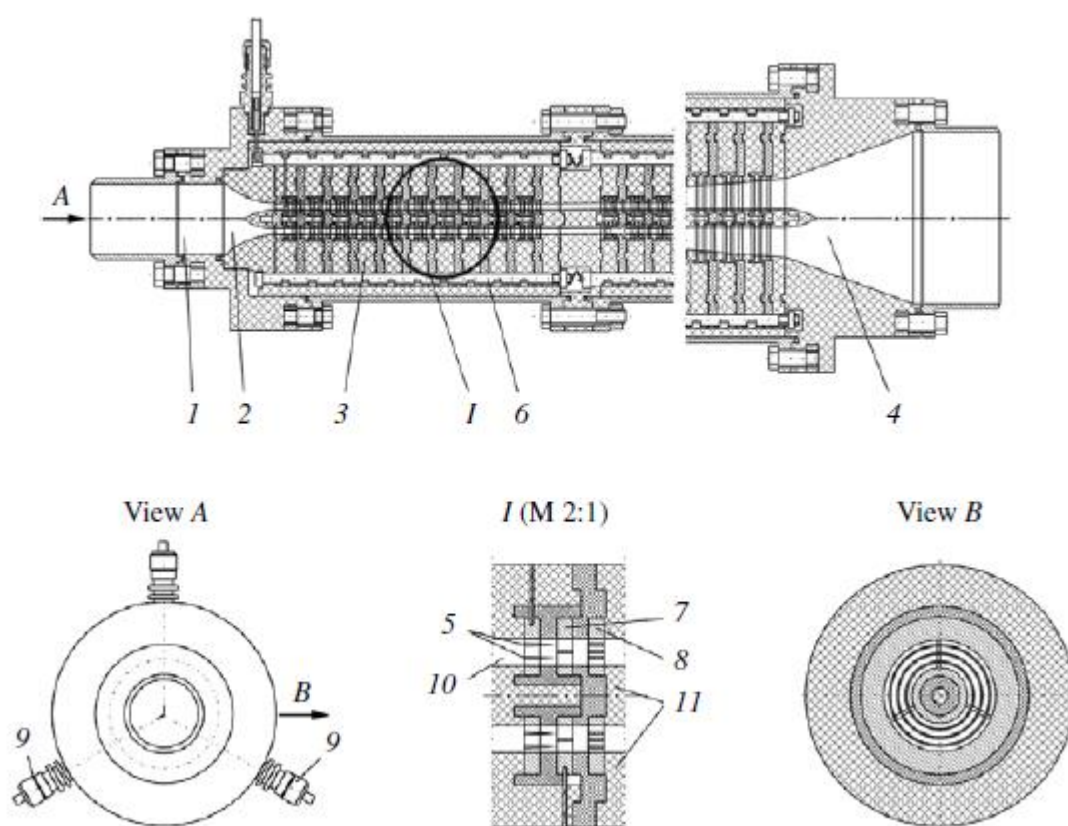


Fig. 16. – Layout of a multistage EGD-G-E: 1) water pipe; 2) nozzle; 3) working multistage part; 4) diffuser; 5) emitter electrode; 6) input and output busbars; 7) extraction electrode; 8) collector electrode; 9) current conductors; 10) flow-through part; 11) dielectric body.

A fundamentally new scheme of stages and EGD-G-E is proposed (Fig. 15) in which thin-walled coaxial cylinders sharpened in the direction of the extraction electrodes are used as emitters. The extraction and collector electrodes are made in the form of coaxial cylinders [49]. This scheme makes it possible to perform in one

stage expansion of a considerable volume of gas and develop power to several tens of kilowatts, as a result of which it is possible to develop EGD-G-E for any practically significant parameters (up to several megawatts) without parallel connection of stages.

The flow-through part of the EGD-G-E, as for a turbo-expander, consists of three main parts (see Fig. 15): I is a nozzle; II, III, IV is the working area, representing the single-stage or multistage versions depending on the pressure drop; V is a diffuser. In each stage there are zones: II is the charge formation zone where by means of a “cold” corona discharge between the emitter 2 and extractor 3 electrodes around the point of the emitter electrode there is formation of charged-ions; III is a zone of EGD-transformation in which the flow of neutral gas carries charged ions. In zone III due to the difference in potentials of the collector and extraction electrodes there is formation of a strong electric field directed against movement of the unipolar charged flow. The working flow, carrying charged-ions in a direction opposite to the direction of the electric field force, completes work, and its enthalpy and temperature are reduced. For the unipolar charged flow on reaching collector 5 charged ions are recombined at its surface and an electric current forms in the external power network with load R_l . Then the neutral working flow enters the diffuser or the next stage for further expansion.

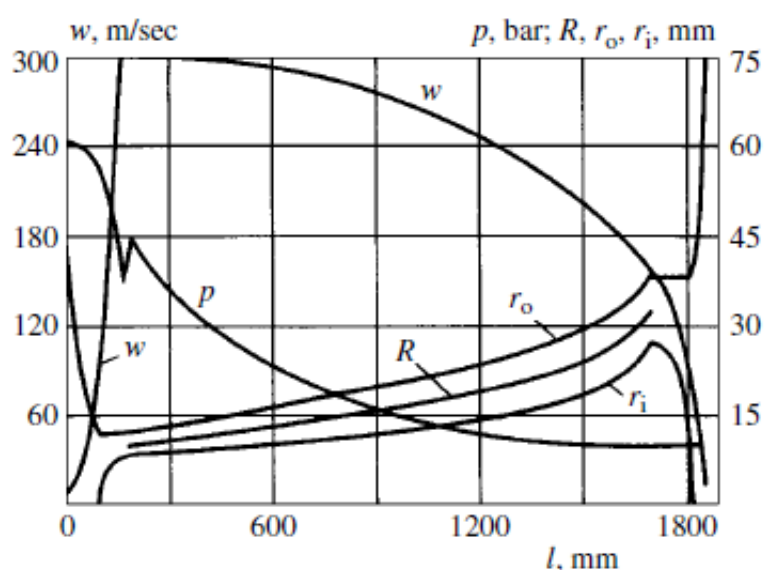


Fig. 17. – Change in flow parameters and annular channel and emitter radii over the length of the EGD-G-E.

Physical and mathematical models of the processes that occur in this stage, and also some results of calculations and their analysis show that EGD-G-E, constructed according to this scheme, may operate with a high adiabatic (isoentropic) efficiency, i.e., 80% or more [50].

On the basis of this scheme for stages, construction of a multistage EGD-G-E (Fig. 16) is proposed for an NGL producing 1000 kg/h of LNG located within a GDS. The main EGD-G-E starting parameters are: initial pressure 6 MPa; initial temperature 240–250 K; final pressure 0.6 MPa. Weight flow rate 2–3 kg/sec.

The flow-through area of the multistage EGD-G-E consists of a nozzle, the working multistage area and a diffuser. Expansion in each of these areas depends, as in a turbo-expander, on the working regime selected, that is determined by the level of reactivity. It is very important to establish the optimum operating regime and the optimum level of reactivity that markedly affect the operating efficiency and the construction of the flow-through part of the EGD-G-E.

Natural gas is a relatively light gas and therefore in the case of an active regime in the EGD-G-E nozzle it is necessary to build up the flow rate, as a rule above the speed of sound (450–500 m/sec). As a result of this in the working area, where the EGD-G-E stages are installed, there are considerable losses in resistance. With low flow rates, the main drop in pressure and enthalpy should only operate in the working area, in which the stages are successively installed, and this necessitates a marked increase in the number of them. Analysis of different EGD-G-E operating regimes has shown that its operation is most effective with a level of reactivity of 0.65–0.70.

In this case, the flow rate at the nozzle outlet does not exceed the local speed of sound and the construction of the flow-through area is simplified. In fact, multistage EGD-G-E operation is described in this regime. In the nozzle of this EGD-G-E, the working flow (gas) develops a relatively high velocity, but not above the speed of sound (300–350 m/sec). Here temperature and pressure are reduced according to an adiabatic rule and depending on the selected level of reactivity they change correspondingly to 3.5–4.0 MPa and 235–220 K. After the

					Обзор литературы	Лист
						94
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

nozzle, which gradually changes into an expanding annular channel, where fifty stages are installed successively, there is further expansion of the flow with completion of external work for transfer of charged ions in a direction opposite to the direction of electric field forces. Pressure, temperature, and flow decrease correspondingly to 0.6 MPa, 140–160 K, and 150–100 m/sec. The high potential (35–110 kV) that forms in the collectors of stages in relation to the resistance of the load R_l in the external network is taken away through a common bar (stretching rod) to a high-voltage output electrode. Then through a high-voltage cable the electric current is transferred to the power network. A special HVS (see Fig. 15) with a potential of 5–15 kV is necessary for feeding emitters in all stages. The electrode, connecting all of the extraction electrodes, is earthed.

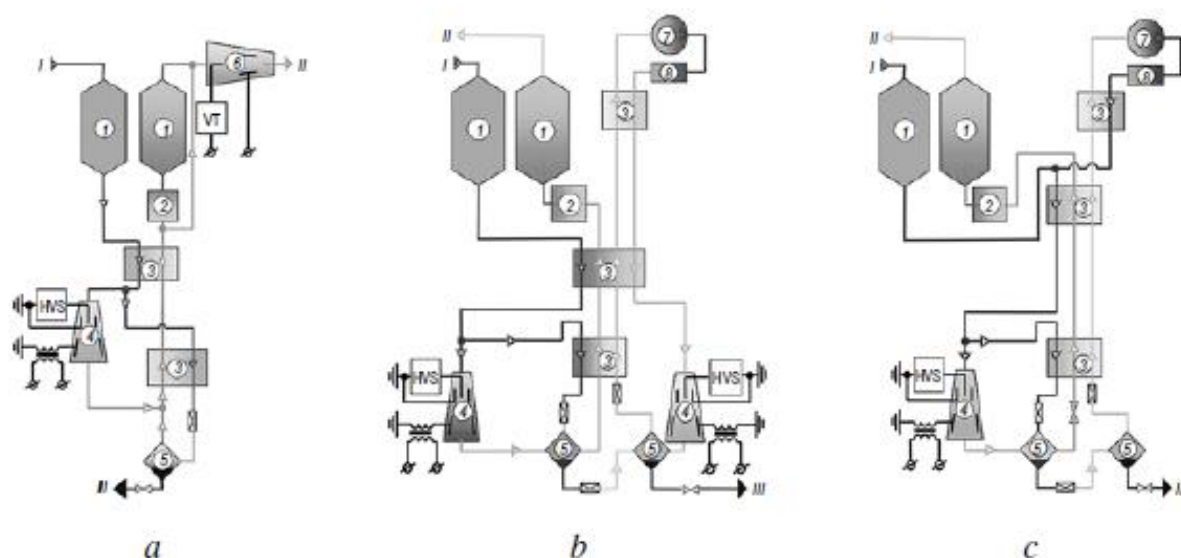


Fig. 18. – Simplified fundamental layouts of an NGL with an EGD-G-E: a) with partial liquefaction during operation beside a GDS; b) with partial or total liquefaction with an independent circulation circuit; c) with partial or total liquefaction with a circulation circuit combined with the main circuit;

I) NG in the installation from the main gas pipeline; II) NG to the user or the gas pipeline grid; III) LNG; 1) adsorber; 2) preheater; 3) heat exchanger; 4) EGD-G-E; 5) separator; 6) EGD-compressor; 7) circulation compressor; 8) cooler; VT is voltage transformer.

With the prescribed starting data, calculations were made for flow rate w and pressure p , and also the change in outer r_o and inner r_i annular channel radii, emitter radius R over length l of the whole working flow-through area (Fig. 17). The length of an individual stage is 30 mm, and for the overall length of the flow-through area (nozzle – working area – diffuser) $l = 1800$ mm.

Calculations were made for the conical central body whose radius increases gradually from stage to stage. It is possible to construct the flow-through area with a central body of constant radius. In this case, the greatest channel radius is at the outlet from the diffuser (75 mm). At the outlet from the nozzle, the outer radius is 42.5 mm.

In comparing an EGD-G-E with a turbo-expander, it has been established that the EGD-G-E has advantages but it is not free from drawbacks:

- the multistage nature of the working area that on one hand complicates its construction but on the other hand markedly simplifies nozzle and diffuser construction;
- the relatively high voltage that may quite easily (without transformation) be transferred to a stationary high-voltage network, in view of which good insulation for the EGD-G-E and screening of it from electrical fields are necessary.

In the construction suggested, the flow-through area, within which the stages are installed, is made of an electrical insulating, relatively strong and light material, i.e., caprolon B. In addition, on the outside the EGD-G-E is screened with a metal housing.

A very important condition is correct connection of the EGD-G-E to a NGL circuit that depends on different factors: location of the NGL, the required fraction of LNG output, equipment used, etc.

Possible NGL schemes are shown in Fig. 18 operating either without additional equipment or with additional equipment making it possible to increase LNG output. The last version is possible with arrangement of the NGL beside a GDS or beside a borehole.

					Обзор литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96

A simple fundamental NGL with EGD-G-E scheme is shown in Fig. 18a operating only on energy that arises with a pressure drop between the main gas pipeline and the gas distribution network. With pressures in the main and gas pipeline networks of 6.0 and 0.6 MPa and with adiabatic efficiency for the EGD-G-E of 65–80%, the fraction of LNG output is 15–18%.

With a higher pressure at the NGL outlet, for example with 10 MPa (beside a borehole of the Tevrizk formation, Omsk Region), the fraction of LNG output increases to 22% without using additional electric energy.

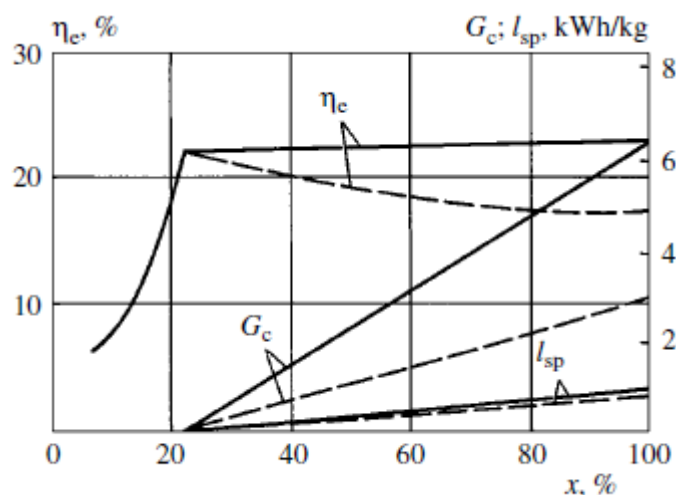


Fig. 19. – Results of calculating a NGL scheme with total or partial liquefaction with a pressure in the circulation circuit of 10 MPa (---) and 1.3 MPa (—).

For a further increase in LNG output, it is necessary to use an additional source of cold production, for example a circulation circuit, that may be both independent (Fig. 19) and combined with the main circuit (Fig. 19). Here additional electric energy is used.

In the case of using the scheme shown in Fig. 19, the pressure in the circulation circuit may be any in relation to the technical characteristics of the compressor. With the use of the scheme shown in Fig. 19, the pressure in the circulation circuit is determined by the NG pressure in the main pipeline or in the borehole.

An estimation has shown (Fig. 18) that with setting up a NGL located beside a borehole of the Tevrizk formation with screw compressors with a pressure at the inlet of 1.3 MPa and an increase in the fraction of LNG output x from 22 to 100% (all gas is liquefied) the ratio of gas flow rate in the circulation circuit to the flow rate of gas in the main circuit G_c increases from 0 to 6.5, and the energy efficiency of the NGL η_e gradually decreases from 21 to 17%. In the case of using a compressor with a discharge pressure of 10 MPa and an intake pressure of 0.6 MPa with an increase in the fraction of LNG output from 22 to 100%, the gas flow rate in the additional circuit increases in all from 0 to 2.9. Here the exergetic efficiency increases from 21 to 23%.

Also shown in Fig. 5 is the dependence of the specific yield of electric energy l_{sp} for different NGL schemes on the fraction of liquefied gas output.

Each of the three NGL schemes has advantages and disadvantages. Analysis of the operation of the proposed NGL with EGD-G-E shows that in efficiency they are not surpassed by NGL with turbo-expanders. From an exergetic point of view in order to increase the fraction of LNG output above 20% in the NGL it is more convenient to use an additional circulation circuit combined with the main one (Fig. 4c), in which a pressure is generated corresponding to the pressure at the inlet to the NGL. Here the construction of heat exchanger equipment is simplified and it is possible to use one EGD-G-E that reduces capital expenditure in creating this liquefier.

Thus, of the NGL using LPG energy the most effective are liquefiers with an expander.

					Обзор литературы	Лист
						98
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		