

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

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

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

**Отделение школы** Отделение нефтегазового дела

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

<b>Тема работы:</b>  <b>«Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями»</b>
--

УДК 622.691.4.052

**Студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б91	Белоусов Лев Андреевич		

**Руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Шадрина А.В.	д.т.н., профессор		

#### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

#### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

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

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

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

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

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

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

**В форме:**

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

**Студенту:**

Группа	ФИО
2Б91	Белоусов Лев Андреевич

**Тема работы:**

<b>«Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями»</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	07.02.2023 г., № 38-108/с

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Технологическая схема ГПА-16У, расположенного на КС-4 «Иван Москвитин» Нерюнгринское ЛПУМГ в республике Саха. Технологическая схема компрессорной станции «Иван Москвитин». Состав оборудования компрессорного цеха. Исходные данные параметров работы ГПА для технологического расчета.
---------------------------------	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<p>1) Изучение нормативно-технической, эксплуатационной технической документации, учебной литературы и современных научных публикаций по заданной тематике;</p> <p>2) Изучение технологической схемы компрессорного цеха рассматриваемой компрессорной станции, а также компрессорной станции в целом;</p> <p>3) Разработка организационно-технических мероприятий по повышению энергетической эффективности оборудования компрессорного цеха;</p> <p>4) Технологический расчёт по подбору и определению характеристик оборудования компрессорного цеха.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Схема компрессорного цеха;</li> <li>– Технологическая схема газоперекачивающего агрегата;</li> <li>– Модель ГПА-16У;</li> <li>– Рисунки, схемы, графики;</li> <li>– Таблицы.</li> </ul>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна Доцент (ОСГН, ШБИП), к.т.н.</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Гуляев Милий Всеволодович Старший преподаватель ООД ШБИП</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: реферат</b></p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОНД	Шадрина А.В.	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б91	Белоусов Лев Андреевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Б91	Белоусов Лев Андреевич

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Литературные источники. 2. Методические указания по разработке раздела.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Нормативные источники
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Налоговый кодекс РФ

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности проведения работ по врезке отвода в магистральный газопровод с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научного исследования	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности научного исследования	1. Расчет показателей ресурсоэффективности. 2. Определение интегрального показателя эффективности научного исследования

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б91	Белоусов Лев Андреевич		

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б91	Белоусов Лев Андреевич

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

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

<b>Введение:</b> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	<i>Тема ВКР:</i> Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями. <i>Объект исследования:</i> компрессорный цех газоперекачивающего агрегата. <i>Область применения:</i> газоперекачивающие агрегаты, устанавливаемые на линейных компрессорных станциях. <i>Рабочей зоной</i> при производстве работ является ангарное помещение газоперекачивающего агрегата.
--	---

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

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;	Специальные правовые нормы трудового законодательства: ТК РФ Статья 92. Сокращенная продолжительность рабочего времени ТК РФ Статья 117. Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда. ТК РФ Статья 147. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
<b>2. Производственная безопасность:</b> – Анализ потенциальных вредных и опасных факторов	Вредные факторы:

<p>– Обоснование мероприятий по снижению их воздействия</p>	<p>– повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума;</p> <p>– повышенный уровень общей вибрации;</p> <p>– производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождение работника;</p> <p>– отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.</p> <p>Опасные факторы:</p> <p>– сосуды и аппараты под высоким давлением;</p> <p>– пожаровзрывоопасность;</p> <p>– производственные факторы, связанные с электрическим током;</p> <p>– вещества, обладающие острой токсичностью по воздействию на организм (ядовитые вещества/химикаты/химическая продукция).</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации:</b></p>	<p>Атмосфера: выброс продуктов сгорания ГПА.</p> <p>Гидросфера: загрязнение сточных вод нефтепродуктами.</p> <p>Литосфера: загрязнение почвы углеводородными смесями.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Возможные ЧС: воспламенение масла в компрессорном цехе, попадание посторонних предметов в полость нагнетателя, поступление воспламеняющихся веществ через неплотности арматуры.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: потеря герметичности трубопроводов</p>

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

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

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

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>2Б91</p>	<p>Белоусов Лев Андреевич</p>		

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

**Форма представления работы:**

бакалаврская работа

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.02.2023	<i>Введение</i>	5
28.02.2023	<i>Компрессорная станция как элемент газотранспортной системы</i>	10
15.03.2023	<i>Оборудование компрессорного цеха. Газоперекачивающий агрегат</i>	15
18.04.2023	<i>Повышение эффективности работы оборудования компрессорного цеха</i>	15
27.03.2023	<i>Расчетная часть</i>	20
04.05.2023	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
15.05.2023	<i>Социальная ответственность</i>	10
25.05.2023	<i>Заключение</i>	5
01.06.2023	<i>Презентация</i>	10
	<i>Итого</i>	100

**Составил преподаватель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОНД	Шадрина А.В.	д.т.н.		

**Согласовано:**

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

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 98 страниц и 6 приложений, 10 рисунков, 23 таблицы, 36 источников.

Ключевые слова: газ, компримирование, компрессорный цех, газоперекачивающий агрегат, техническое обслуживание, эффективность, центробежный нагнетатель, промывка.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является компрессорный цех.

Цель исследования заключается в разработке предложений по совершенствованию процесса технического обслуживания ГПА.

Методология проведения работы: представлен количественный расчёт экономии природного газа для мероприятия повышения эффективности работы оборудования компрессорного цеха; в качестве технологического расчёта проведён анализ газодинамических характеристик нагнетателя и параметров работы ГПА на соответствие функционирования нагнетателя требованиям газодинамической устойчивости.

Основные конструктивные решения: корректировка алгоритма системы автоматического управления газоперекачивающим агрегатом при проведении технического обслуживания.

Область применения: компрессорные станции.

Значимость работы: сокращение выброс природного газа в атмосферу, эффективно использовать природный газ, а также снизить время, затрачиваемое на промывку, тем самым повысить показатели энергоэффективности компрессорного цеха.

					Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Белоусов Л.А.				Лит.	Лист	Листов	
Руковод..		Шадрина А.В.					10	104	
Рук-ль ООП		Чухарева Н.В.			Реферат			Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91	

## Abstract

Graduate qualification work 98 pages, 10 figures, 23 tables, 36 sources, 6 applications.

Key words: gas, compression, compressor shop, gas compressor unit, maintenance, efficiency, centrifugal compressor, flushing.

The object of the research of the graduate qualification work is a compressor shop.

The aim of the study is to develop proposals to improve the process of maintenance of gas compressor unit.

Methodology of the work: quantitative calculation of natural gas savings for the measures of improving the efficiency of compressor shop equipment; as a technological calculation, the analysis of gas-dynamic characteristics of the centrifugal compressor and the parameters of the GPA operation for compliance with the requirements of gas-dynamic stability of the blower functioning is carried out.

Main design solutions: correction of the algorithm of the automatic control system of the gas compressor unit during maintenance.

Scope of application: compressor stations.

Significance of the work: reduction of natural gas emissions into the atmosphere, efficient use of natural gas, as well as reducing the time spent on flushing, thereby improving the energy efficiency of the compressor shop.

					<i>Abstract</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

## Определения, сокращения

### Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Газовая турбина:** Компонент газотурбинного двигателя, преобразующий потенциальную энергию нагретого рабочего тела под давлением в механическую работу.

**Газоперекачивающий агрегат:** энергетическая установка, состоящая из теплового или электрического привода, газового компрессора и вспомогательного оборудования, предназначенная для сжатия газа в различных технологических процессах газовой и нефтяной отраслей.

**Компрессорная станция:** составная часть магистрального газопровода, которая предназначена для обеспечения его пропускной способности, посредством увеличения давления на выходе компрессорной станции при помощи газоперекачивающих агрегатов.

**Компрессорный цех:** сооружение в составе компрессорной станции, предназначенное для поддержания заданного давления в магистральном газопроводе и технологических параметров газ.

**Линейная компрессорная станция:** компрессорная станция, расположенная на участках магистральных газопроводов и служащая для компенсации потерь давления на предшествующем участке.

**Номинальная потребляемая мощность:** мощность на муфте ГПА, соответствующая номинальной мощности ГТУ в стационарных условиях по ГОСТ 28775.

**Относительная коммерческая производительность:** производительность компрессора, приведенная к 0,1013 МПа и 293 К и

					<i>Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Белоусов Л.А.			<b>Определения, сокращения</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Шадрина А.В.					12	104
<i>Рук-ль ООП</i>		Чухарева Н.В.				Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		

отнесенная к давлению на входе в компрессор.

**Относительная потребляемая мощность:** мощность на муфте ГПА, отнесенная к давлению на входе в центробежный компрессор.

**Полиτροпный коэффициент полезного действия:** показатель эффективности центробежного компрессора.

**Производительность компрессора:** количество перекачиваемого газа в объемном исчислении ( $\text{м}^3/\text{мин}$  при условиях на входе компрессора или млн.нм<sup>3</sup>/сут, приведенных к 0,1013 МПа и 293 К).

**Техническое обслуживание:** комплекс технологических операций и организационных действий по поддержанию работоспособности или исправности объекта при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании.

**Центробежный компрессор (другое название – центробежный нагнетатель):** центробежная компрессорная машина с приводом от электродвигателя или газотурбинной установки.

**Энергоэффективность (энергетическая эффективность):** эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов.

**Эксплуатация:** стадия жизненного цикла изделия, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество, включающая в себя в общем случае использование по назначению, транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт.

#### *Сокращения*

- АВО – Аппарат воздушного охлаждения;
- ВОУ – Воздухоочистительное устройство;
- ГКС – Головная компрессорная станция;
- ГПА – Газоперекачивающий агрегат;
- ГТД – Газотурбинный двигатель;
- ГТУ – Газотурбинная установка;
- МГ – Магистральный газопровод;

					<i>Определения, сокращения</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

КИПиА – Контрольно-измерительные приборы и автоматика;  
КПД – Коэффициент полезного действия;  
КЦ – Компрессорный цех;  
САУ – Система автоматического управления;  
СГУ – Сухие газодинамические уплотнения;  
ТВД – Турбина высокого давления;  
ТК – трудовой кодекс;  
ТО – Техническое обслуживание;  
ТТР – температура точки росы;  
ФЗ – федеральный закон;  
ЦБК – центробежный компрессор;  
ЧС – чрезвычайная ситуация.

					<i>Определения, сокращения</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

## Содержание

Введение.....	18
1. Компрессорная станция как элемент газотранспортной системы .....	20
1.1 Общие сведения о компрессорных станциях .....	20
1.2 Основное и вспомогательное оборудование КС .....	21
2. Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов... ..	24
2.1 Оборудование компрессорного цеха. Газоперекачивающий агрегат.....	24
2.1.1 Турбоблок .....	29
2.1.2 Система воздухообеспечения .....	30
2.1.3 Выхлопная система .....	31
2.1.4 Система маслообеспечения ЦБК .....	31
2.1.5 Блоки систем обеспечения.....	31
2.1.6 Системы газовых уплотнений, разделительного азота и разделительного воздуха ЦБК.....	33
2.1.7 Блок САУ .....	34
2.2 Процесс компримирования природного газа.....	34
2.2.1 Принцип работы газотурбинного двигателя.....	35
2.2.2 Принцип работы центробежного компрессора.....	36
2.3 Мероприятия по техническому обслуживанию ГПА .....	38
3. Повышение эффективности работы оборудования КЦ.....	41
3.1 Совершенствование процесса ТО агрегата .....	41
3.2 Обоснование повышения эффективности .....	44
4. Расчётная часть.....	48
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	53
5.1. Потенциальные потребители результатов исследования .....	53

					<i>Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Белоусов Л.А.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Шадрина А.В.</i>				15	104
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>			<b>Содержание</b>		
					Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		

5.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	54
5.3	SWOT-анализ .....	56
5.4	Планирование научно-исследовательских работ .....	58
5.4.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	58
5.4.2	Определение трудоемкости работ .....	59
5.4.3	Разработка графика проведения научного исследования .....	60
5.5	Бюджет научно-технического исследования .....	63
5.5.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	63
5.5.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ ..	64
5.5.3	Основная заработная плата исполнителей работы.....	64
5.5.4	Дополнительная заработная плата исполнителей работы.....	65
5.5.5	Отчисления во внебюджетные фонды .....	66
5.5.6	Накладные расходы .....	67
5.5.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы .....	67
5.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	68
Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....		71
6.	Социальная ответственность .....	72
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	72
6.2	Производственная безопасность: анализ выявленных вредных и опасных природных факторов .....	74
6.2	Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов .....	76
6.2.1	Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума .....	76
6.2.2	Повышенный уровень общей вибрации.....	77

6.2.3. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождение работника.....	78
6.2.4 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.....	79
6.2.5 Сосуды и аппараты под высоким давлением.....	80
6.2.6 Производственные факторы, связанные с электрическим током .	81
6.2.7 Пожаровзрывоопасность.....	81
6.2.8 Вещества, обладающие острой токсичностью по воздействию на организм.....	83
6.3 Экологическая безопасность.....	84
6.3.1 Защита атмосферы.....	84
6.3.2 Защита гидросферы.....	86
6.3.3 Защита литосферы.....	87
6.4 Меры безопасности в чрезвычайных ситуациях .....	88
Вывод по разделу «Социальная ответственность».....	89
Заключение.....	91
Список источников.....	93
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Генеральный план КС-4 Иван Москвитин.....	99
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Выхлопная система ГТД.....	100
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Технологическая схема ГПА-16У .....	101
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Алгоритм «Промывка ГТД» .....	102
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Использование газа при продувке ЦБК.....	103
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Параметры работы ГПА КС Иван Москвитин.....	104

## Введение

Единая технологическая система магистрального трубопроводного транспорта природного газа состоит из труб большого диаметра и высокого давления, протяженностью более 170 тысяч километров, а также 253 компрессорных станции с газоперекачивающими агрегатами суммарной мощностью 47,1 тыс. МВт [1].

Современные компрессорные станции построены с учетом новых требований для безопасной и эффективной транспортировки газа по магистральному газопроводу. Однако, в процессе эксплуатации неизбежно могут возникать ситуации, при которых этот газ может попасть в атмосферу и привести к экологическим и финансовым последствиям. Это может произойти как в аварийных ситуациях, так и при выполнении технологических операций или переключений, таких как техническое обслуживание, ремонт оборудования или переключения при введении нового оборудования.

Энергоэффективность газопровода и безопасность газотранспортных объектов, а также постоянное снижение негативного воздействия на окружающую среду, ресурсосбережение, повышение энергоэффективности и сокращение выбросов парниковых газов являются ключевыми приоритетами ПАО «Газпром» согласно [2], как одного из крупнейших газодобывающих и газотранспортных компаний, и государства в целом. Они стоят перед задачей снижения расхода электроэнергии и природного газа, улучшения производственной безопасности работников и использования энергоэффективных технологий и оборудования. Для этого применяются различные технологические решения, такие как внутренние гладкостные покрытия на трубах, изготовленных из стали российского производства, и использование энергоэффективных компрессорных станций.

Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
Разраб.		Белоусов Л.А.			
Руковод.		Шадрина А.В.			
Рук-ль ООП		Чухарева Н.В.			
<b>Введение</b>					
			Лит.	Лист	Листов
				18	104
Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91					

Именно поэтому на сегодняшний день актуальной темой является повышение эффективности работы компрессорного цеха, состоящего из газоперекачивающих агрегатов, как основного оборудования любой компрессорной станции.

Объектом данного исследования является компрессорный цех. Предмет – порядок проведения технического обслуживания газоперекачивающего агрегата.

Основная цель исследования заключается в разработке предложений по совершенствованию процесса технического обслуживания ГПА.

Для выполнения поставленной цели в процессе работы были выполнены следующие задачи:

- 1) Изучение нормативно-технической, эксплуатационной технической документации, учебной литературы и современных научных публикаций по заданной тематике;
- 2) Изучение технологической схемы компрессорного цеха рассматриваемой компрессорной станции, а также компрессорной станции в целом;
- 3) Разработка организационно-технических мероприятий по повышению энергетической эффективности оборудования компрессорного цеха;
- 4) Технологический расчёт по подбору и определению характеристик оборудования компрессорного цеха;
- 5) Анализ вопросов финансового менеджмента, ресурсоэффективности, ресурсосбережения и социальной ответственности в рамках данной работы.

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

# 1. Компрессорная станция как элемент газотранспортной системы

## 1.1 Общие сведения о компрессорных станциях

Компрессорная станция является неотъемлемой частью единой газотранспортной системы. Она создаёт необходимое давление природного газа для его транспортировки по магистральным газопроводам с определённым расходом, заданным плановыми или проектными характеристиками. Энергетическое оборудование станции обеспечивает компримирование газа, то есть его сжатие, характеризующееся коэффициентом сжатия – данный параметр является одним из главных при расчёте выходных показателей газа (отношение давлений на входе и выходе компрессора) [3]. По своему расположению и виду выполняемой работы компрессорные станции классифицируются на дожимные (головные) и линейные (промежуточные) в составе МГ.

Осушенный от газового конденсата и влаги, очищенный от сероводорода, углекислого газа и механических примесей природный газ поступает от газодобывающего месторождения на головную компрессорную станцию. Дожимная (головная) компрессорная станция располагается прямо на газодобывающем месторождении почти во всех случаях и постепенно развивается путём ввода новых компрессорных цехов по мере снижения начального давления добываемого газа. Она не только повышает давление добываемого газа до необходимых параметров перекачки (обычно до 5...8 МПа), но и подготавливает его к транспортировке по МГ. В отличие от линейной, дожимная производит в обязательном порядке дополнительную осушку, сепарацию, очистку голубого топлива в части удаления сероводорода, углекислоты и приводит состав природного газа до товарного качества, а также

					<i>Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Белоусов Л.А.</i>			<b>Компрессорная станция как элемент газотранспортной системы</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Шадрина А.В.</i>					20	104
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Чухарева Н.В.</i>				<b>Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91</b>		

замеряет его количество [4].

Линейная (промежуточная) компрессорная станция располагается по трассе МГ на определённых расстояниях друг от друга, установленных гидравлическим расчётом (100-150 км), и на определённых с помощью инженерных изысканий площадках, и поддерживает давление, заданное проектной или плановой производительностью магистрального газопровода. Несмотря на то, что ГКС подготавливает газ до товарных качеств, на линейной компрессорной станции так же проводится обязательная очистка газа от механических примесей. Это необходимо для нормальной работы основного и вспомогательного оборудования.

В данной работе будут рассмотрены промежуточные компрессорные станции.

## **1.2 Основное и вспомогательное оборудование КС**

Типовая схема компрессорной станции МГ включает в себя ряд следующих, необходимых для нормального функционирования, сооружений, систем и объектов [4]:

- компрессорный цех (один или несколько);
- система сбора, удаления и обезвреживания твердых и жидких примесей, извлечённых из транспортируемого газа;
- узел пуска и приёма очистных устройств (один или несколько);
- система электроснабжения;
- система производственно-хозяйственного и противопожарного водоснабжения;
- система теплоснабжения и утилизации теплоты;
- система канализации и очистные сооружения;
- система молниезащиты;
- система электрохимической защиты объектов КС;
- система связи;

					<i>Компрессорная станция как элемент газотранспортной системы</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

- диспетчерский пункт;
- административно-хозяйственные помещения, склады для хранения материалов, реагентов и оборудования;
- оборудование и средства технического обслуживания и ремонта линейной части и КС;
- вспомогательные объекты.

Для облегчения строительства вышеперечисленного оборудования, в соответствии с [5], на этапе проектирования компрессорной станции следует в большей степени задействовать устройства в блочно-комплектном исполнении, так как это существенно снижает затраты на строительство и подключение оборудования, а также и позволяет уменьшить площадь строительства ввиду эффективного использования пространства, предусмотренного заводом-изготовителем.

Непрерывная и безопасная работа компрессорной станции осуществляется путём согласованного функционирования всего оборудования, отвечающего требованиям технического состояния. Оборудование КС можно классифицировать по значимости как основное и вспомогательное.

Основное оборудование включает в себя: компрессорный цех, узел приёма и пуска очистных и диагностических устройств, АВО газа, площадка очистки газа, коллекторы газа высокого давления. К объектам вспомогательного назначения относится всё оборудование, предназначенное для нормальной работы основного.

Ключевым звеном компрессорной станции, несомненно, является компрессорный цех с газоперекачивающими агрегатами. Далее в работе будет детально рассмотрен вопрос функционирования оборудования компрессорного цеха. Его общая характеристика, задействованное оборудование, а также принцип работы и мероприятия по техническому обслуживанию будут подробно рассмотрены в разделе 2 на примере

					<i>Компрессорная станция как элемент газотранспортной системы</i>	<i>Лист</i>
						22
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

компрессорного цеха КС-4 Иван Москвитин, имеющего в своём составе 4 ГПА-16У [ген.план кс], как образца высокоэкономичного и перспективного агрегата при дальнейшем развитии газотранспортной системы [6].

					<i>Компрессорная станция как элемент газотранспортной системы</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23



- система охлаждения смазочного масла;
- система электроснабжения КЦ;
- САУ и КИПиА;
- вспомогательные системы и устройства (маслоснабжения, пожаротушения, отопления, контроля загазованности, пожарной и охранной сигнализации, автоматического пожаротушения, вентиляции и кондиционирования воздуха, канализации, сжатого воздуха и др.).

Газоперекачивающие агрегаты являются основным оборудованием КС. Они являются главными составляющими частью КЦ и, в свою очередь, состоят из двух основных узлов: компрессор и привод компрессора (двигатель). В состав так же входят вспомогательное оборудование, системы и блоки – рисунок 2 согласно [9].

На компрессорных станциях магистрального газопровода «Сила Сибири» устройства блочно-комплектного исполнения получили большую распространённость [<https://www.gazprom.ru/press/news/reports/2020/universelle-plattform/>]. Например, на рассматриваемой в качестве примера станции КС-4 Иван Москвитин компрессорный цех полностью состоит из унифицированных агрегатов ГПА-16У – в своём составе станция на данный момент имеет 4 таких агрегата. На рисунке 1 представлена часть генерального плана, на которой отображён компрессорный цех КС-4 Иван Москвитин (генеральный план КС представлен в приложении А). Модель унифицированного ГПА-16У представлена на рисунке 2 согласно [9].

При строительстве МГ «Сила Сибири – 2» на КС-4 Иван Москвитин планируется запуск второго, идентичного первому, компрессорного цеха. Согласно [10] на данный момент проводится тендер по оказанию услуг по проведению экспертизы промышленной безопасности подъемных сооружений (выдача положительного заключения): «Этап 6.4 Компрессорный цех № 2.

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
						25
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Компрессорная станция КС-4 «Нимнырская, в составе стройки МГ «Сила Сибири» для нужд ООО «ГСП-1»»

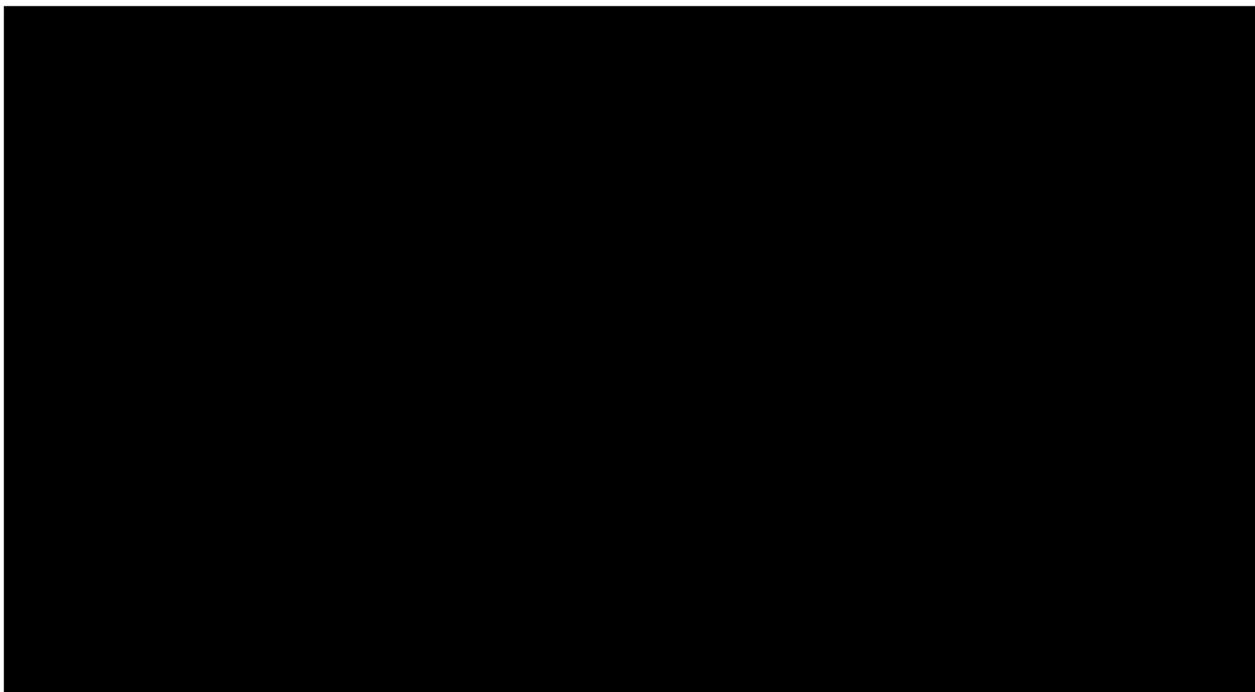


Рисунок 1 – Компрессорный цех КС-4 Иван Москвитин:

1а – Агрегат газоперекачивающий ГПА-16; 1б – Установка охлаждения газа

Основное и вспомогательное оборудование для ГПА предоставляется в готовых заводских блоках, содержащих технологическое оборудование, автоматические системы контроля и датчики, электрооборудование, а также кабельные коммуникации, смонтированные и присоединенные к клеммным коробкам [11].

Основные технические характеристики ГПА-16У-П/100-1,5-07 представлены в таблице 1 [9].

Таблица 1 – Основные технические характеристики ГПА-16У-П/100-1,5-07

Наименование параметра	Значение
Основные параметры ГТД	
Наименование ГТД	[Redacted]
Мощность на муфте ГТД с стационарных условиях, МВт	
Номинальная частота вращения ротора силовой турбины ГТД и ротора ЦБК, с <sup>-1</sup> (об/мин)	

Продолжение таблицы 1

Диапазон регулирования частоты вращения ротора силовой турбины ГТД и ротора ЦБК от номинального значения, %	
Эффективный КПД двигателя в стационарных условиях, %, не менее	
Содержание вредных веществ NO <sub>x</sub> (оксидов азота), мг/нм <sup>3</sup> СО (оксида углерода), мг/нм <sup>3</sup>	
Массовые выбросы вредных веществ NO <sub>x</sub> (оксидов азота), г/с СО (оксида углерода), г/с	
Основные параметры компрессора	
Наименование ЦБК	
Производительность ЦБК объемная, приведенная к начальным условиям, м <sup>3</sup> /мин, не менее	
Давление начальное расчетное, абсолютное, МПа	
Давление конечное расчетное, абсолютное, МПа	
Отношение давлений, не менее	
Политропный КПД ЦБК, %, не менее	
Температура газа на входе в ЦБК, расчетная, °С	
Нормальная (расчетная) частота вращения ротора ЦБК, об/мин	
Расчетная мощность, потребляемая ЦБК, МВт	
Другие параметры ГПА	
Тип САУ	
Время пуска агрегата до выхода на номинальный режим (без учета предпусковой подготовки), мин, не более	
Перевод ГПА из состояния резерва в состояние готовности к пуску за время, минут, не более	

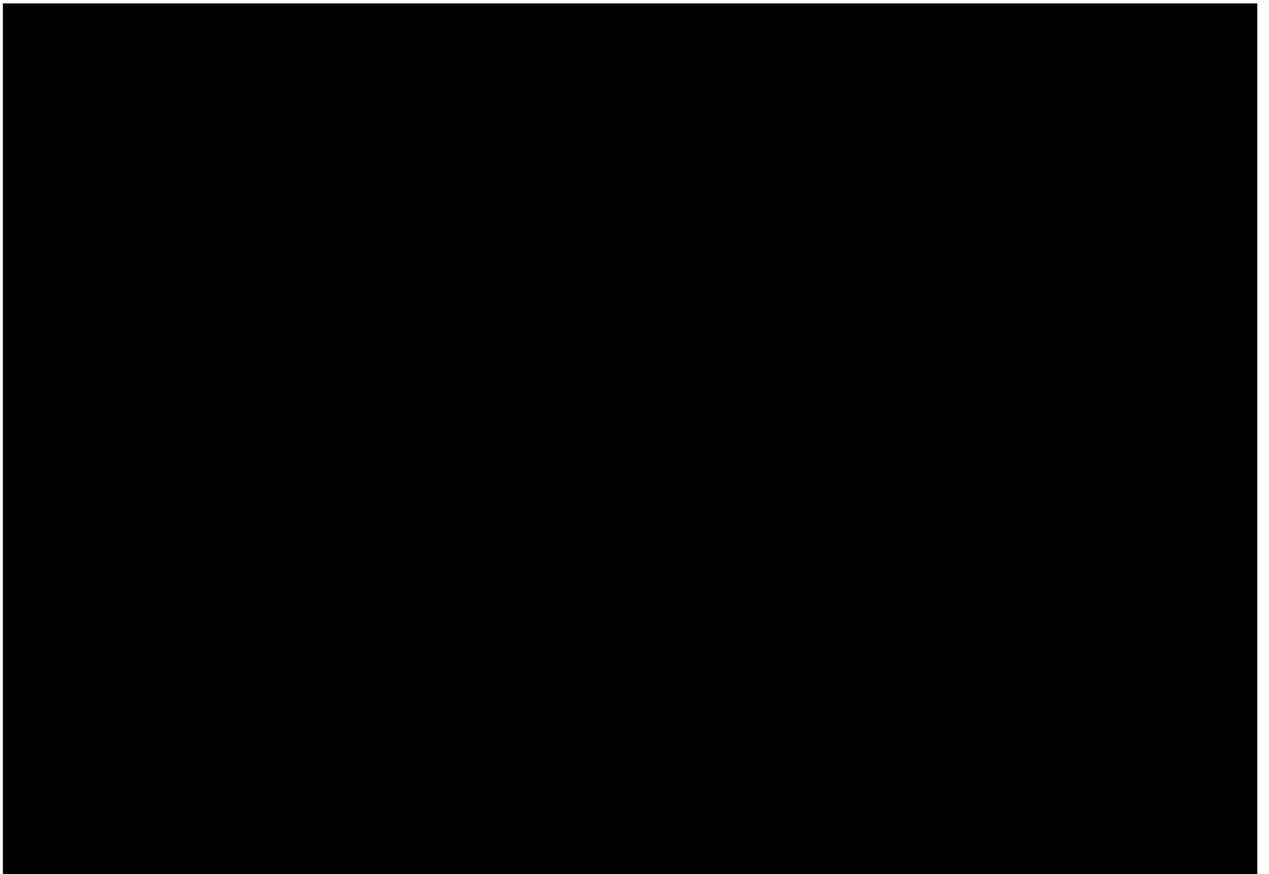


Рисунок 2 – Состав ГПА-16У-П/100-1,5-07:

1 – блок электротехнический ГПА; 2 – блок САУ; 3 – система воздухообеспечения; 4 – система выхлопная; 5 – площадки обслуживания; 6 – установка АВО масла ЦБК; 7 – блок ЦБК; 8 – газомасляный теплообменник (ГМТ); 9 – агрегатный блок топливного газа (АБТГ); 10 – блок силовой; 11 – блок систем обеспечения №2; 12 – блок систем обеспечения №1; 13 – блок электротехнический АВО газа

Далее в подразделах 2.1.1 – 2.1.7 будут кратко показаны ключевые системы и блоки ГПА-16У согласно руководствам по эксплуатации ГПА-16У-П/100-1,5-07 [9], ЦБК 405-1,5/101-5300/16С [12] и 83-00-496 РЭ ГТУ-16П [13] описание которых необходимо для правильного понимания разделов 3 и 4 данной работы.

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

### 2.1.1 Турбоблок

Блок ЦБК совместно с силовым блоком представляют собой турбоблок – сердце газоперекачивающего агрегата. Турбоблок с пояснениями и местными разрезами представлен на рисунке 3 [9].

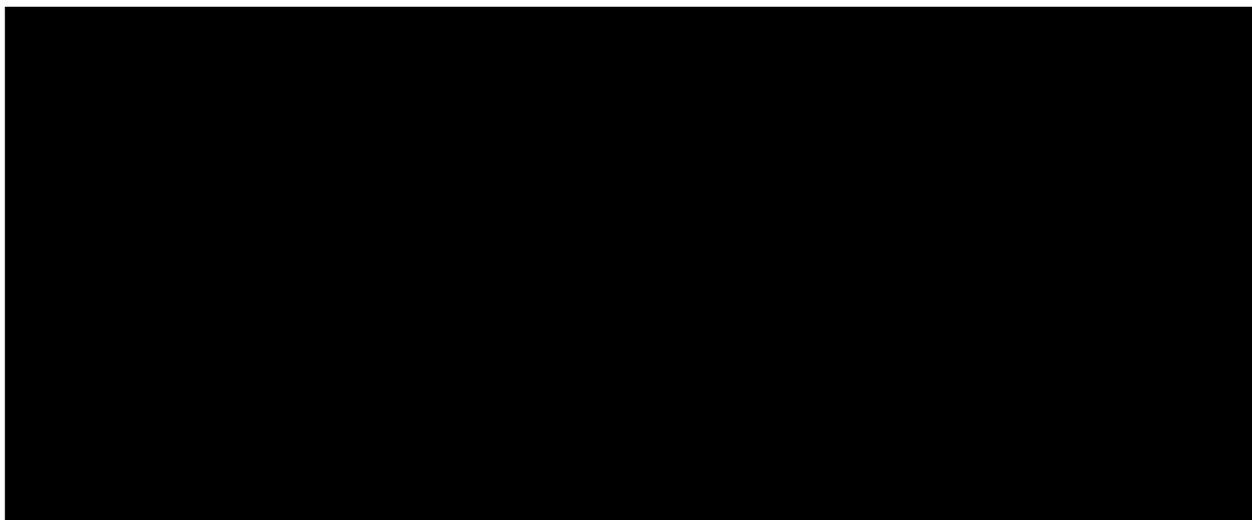


Рисунок 3 – Турбоблок:

1 – блок силовой; 2 – трансмиссия; 3 – блок ЦБК

В силовом блоке располагается газотурбинный двигатель ПС-90ГП-2, обладающий номинальной мощностью 16 МВт. Он обеспечивает, за счёт сгорания топливного газа, через трансмиссию, вращение центробежного компрессора.

Центробежный компрессор ЦБК 405-1,5/101-5300/16С располагается в блоке ЦБК (рисунок 2, 3). Он, в свою очередь, компримирует природный газ, поступающий из магистрального газопровода через фильтры-сепараторы и входной коллектор в компрессорный цех, создавая отношение давлений газа 1,5 на входе и выходе компрессора, согласно техническим характеристикам.

Трансмиссия компенсирует возникающие осевые смещения на роторах компрессора и двигателя и обеспечивает бесперебойную передачу вращательной энергии от ГТД к ЦБК.

Для обеспечения нормальной работы ГТД предусмотрены системы жизнеобеспечения [9]:

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

- система воздухообеспечения ГТД;
- система подогрева циклового воздуха (СПЦВ);
- система выхлопная ГТД;
- система топливообеспечения ГТД;
- система маслообеспечения ГТД;
- система промывки ГТД;
- система автоматической противопожарной защиты (системы пожарной сигнализации, контроля загазованности и пожаротушения ГПА).

Так же для обеспечения нормальной работы ЦБК предусмотрены системы жизнеобеспечения [9]:

- система маслообеспечения и суфлирования ЦБК;
- система газовых уплотнений ЦБК, система буферного газа, разделительного азота и разделительного воздуха;
- система автоматической противопожарной защиты (системы пожарной сигнализации, контроля загазованности и пожаротушения ГПА).

### 2.1.2 Система воздухообеспечения

Система воздухообеспечения ГТД является одной из ключевых систем и предназначена для подачи очищенного воздуха, поступающего из атмосферы в газотурбинный двигатель.

Атмосферный воздух через воздухозаборник ВОУ поступает в фильтры предварительной очистки и далее в фильтры тонкой очистки, которые обеспечивают очистку циклового воздуха от пыли и других механических включений.

Степень загрязненности фильтров пропорциональна разности давлений между атмосферным давлением и избыточным давлением в чистой

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
						30
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

зоне ВОУ (после фильтров). Разность давлений на фильтрах контролируется САУ [9].

### **2.1.3 Выхлопная система**

Система выхлопная создана с целью выведения остатков сгоревшего топлива, уменьшения уровня шумового эффекта, идущего от выхлопных газов газотурбинного двигателя в окружающее пространство.

Состав выхлопной системы представлен в приложении Б согласно [9]. Принцип работы основных элементов выхлопной системы: продукты сгорания из ГТД направляются в газоотвод выходной 2 (улитка), который обеспечивает радиальный выход потока выхлопных газов ГТД с последующим отводом его через вертикальную выхлопную трубу 8. Переходник выхлопа 3 и диффузор 5 обеспечивают снижение скорости выхлопных газов ГТД за счет плавного увеличения сечения канала.

### **2.1.4 Система маслообеспечения ЦБК**

Система маслообеспечения обеспечивает подготовку и подвод масла смазки к ЦБК с целью уменьшения трения и износа узлов подшипников скольжения, их охлаждения и очистки от продуктов износа [12].

Система маслообеспечения – циркуляционная, под давлением, состоящая из двух основных частей:

- оборудование системы маслообеспечения, установленное в блоке ЦБК;
- установка блока маслоохладителей ЦБК.

### **2.1.5 Блоки систем обеспечения**

В блоке систем обеспечения №1 размещено основное оборудование системы маслообеспечения и системы промывки осевого компрессора приводного газотурбинного двигателя [9].

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		31

Система маслообеспечения обеспечивает подготовку и подвод масла смазки к ГТД и его отвод с целью уменьшения трения и износа узлов двигателя, их охлаждения и очистки от продуктов износа.

Система маслообеспечения – циркуляционная под давлением и состоящая из следующих основных частей [13]:

- агрегаты масляные двигателя, установленные непосредственно на двигателе;
- оборудование системы маслообеспечения, расположенное в отдельных блоках ГПА (блок систем обеспечения №1, установка газомасляного теплообменника);
- комплект трубопроводной обвязки.

Газомасляный теплообменник обеспечивает охлаждение масла с одновременным подогревом топливного газа.

Далее в работе будет подробно рассмотрена система промывки газотурбинного двигателя в разделе, описывающем мероприятия технического обслуживания ГПА.

В блоке систем обеспечения №2 размещено основное оборудование системы разделительного воздуха и автоматической установки газового пожаротушения [9].

Система разделительного воздуха обеспечивает подготовку и подачу воздуха в уплотнение приводной полумуфты ЦБК.

Подаваемый под избыточным давлением разделительный воздух препятствует попаданию масла и масляных паров в полость трансмиссии.

Перечень основного оборудования системы разделительного воздуха [9]:

- агрегатная система подготовки и подачи разделительного воздуха (размещена в блоке систем обеспечения №2);
- комплект трубопроводной обвязки.

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

## 2.1.6 Системы газовых уплотнений, разделительного азота и разделительного воздуха ЦБК

Система газовых уплотнений ЦБК обеспечивает герметичность вала ротора ЦБК во всем диапазоне давлений от нуля до рабочего (номинального) давления, как во время работы, так и при не вращающемся роторе, кроме предусмотренных протечек газа СГУ.

Основное оборудование системы СГУ согласно [12]:

- узлы торцовых газодинамических уплотнений (ГДУ), установленные в ЦБК;
- фильтр предварительной очистки буферного газа, подаваемого от стационарной системы;
- панель управления СГУ с ответными фланцами и блоком подготовки буферного газа;
- трубопроводы отвода протечек газа после первых и вторых ступеней торцовых газодинамических уплотнений.

Система буферного газа обеспечивает в период пуска и останова система буферного газа подачу в СГУ газа от стационарной системы, а во время работы – от выходного патрубка ЦБК.

Газ от стационарной системы (от выходного патрубка ЦБК), в соответствии с [12], через сепаратор поступает в панель управления СГУ. В состав панели управления входят блоки фильтров газа грубой и тонкой очистки (10 мкм и 3 мкм), подогреватель газа, регулятор перепада давления «газ-газ», расходомеры. Далее, из панели управления СГУ, подготовленный газ поступает в газовые уплотнения ЦБК.

Система разделительного азота обеспечивает подготовку и подачу азота в ЦБК.

Подаваемый под избыточным давлением разделительный азот препятствует попаданию масла и масляных паров в узлы ГДУ (торцовых

					Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

газодинамических уплотнений), а также отсекает возможные протечки газа после вторых ступеней ГДУ от подшипниковых камер ЦБК.

Разделительный азот из трубопроводной обвязки КС с давлением 0,7...0,9 МПа через штуцер Н5203 подается в сдвоенный фильтр Ф5 (основной/резервный). После дополнительной очистки азот поступает в регулятор давления РСВ1, обеспечивающий дросселирование газа до давления 0,02...0,04 МПа. Далее газ подается в ЦБК [12].

### **2.1.7 Блок САУ**

В блоке САУ размещены программно-технические средства системы автоматического управления и регулирования ГПА, системы измерения вибрации ГТД и ЦБК, пожарный контроллер автоматической системы противопожарной защиты ГПА и другое оборудование.

В рассматриваемом ГПА-16У-П/100-1,5-07 установлена система автоматического управления Неман-Р-20-01-0739. В работе будут рассмотрены её алгоритмы управления согласно [14].

## **2.2 Процесс компримирования природного газа**

В приложении В представлена технологическая схема газоперекачивающего агрегата ГПА-16У, необходимая для описания процессов, происходящих при компримировании природного газа.

Газотурбинные агрегаты проходят несколько этапов в своем рабочем процессе. На начальном этапе газ проходит по газопроводу через всасывающий трубопровод ГПА и попадает в центробежный нагнетатель. Здесь газ компримируется и направляется в нагнетательный коллектор компрессорной станции. Газотурбинный двигатель приводит в действие механизм сжатия газа, используя в качестве топлива очищенный и приведенный к рабочему давлению газ из газопровода. Захваченный атмосферный воздух должен подготавливаться и сжигаться традиционными техническими средствами. После сгорания продукты обработки высокой

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		34

температуры и давления формируют газовый поток, который, наконец, преобразуется в механическую энергию, используемую для приведения в действие центробежного нагнетателя. При движении газового потока через проточную часть газотурбинного двигателя происходит снижение его энергии, температуры и давления. Отрабатывший газ выпускается в атмосферу через выхлопную систему [15].

### 2.2.1 Принцип работы газотурбинного двигателя

В газотурбинном двигателе ПС-90ГП-2 используется схема ГТУ с многовальным ГТД простого цикла со свободной силовой турбиной. Она представлена на рисунке 4 и охарактеризована ниже согласно [16]. В состав газотурбинной установки входит 5 основных элементов: компрессор, камера сгорания, газовая турбина и пусковое устройство.

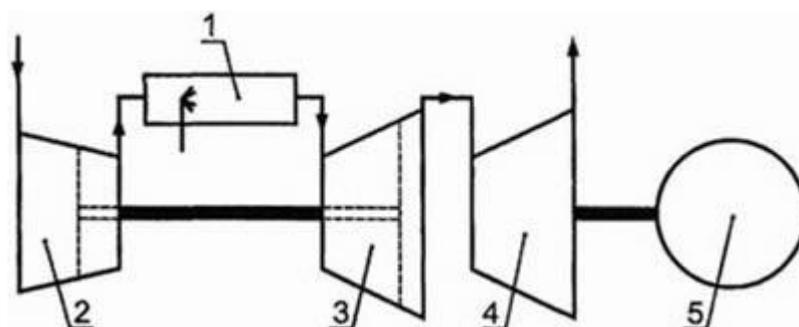


Рисунок 4 – Схема ГТУ с многовальным ГТД простого цикла со свободной силовой турбиной: 1 – камера сгорания; 2 – компрессор; 3 - турбина; 4 – силовая турбина; 5 – нагрузка

Компрессор 2 захватывает воздух из атмосферы через систему воздухообеспечения, сжимает до определенного уровня давления и направляет его в камеру сгорания двигателя 1. В тот же самый момент постоянными порциями в камеру сгорания отправляется газообразное топливо – топливный газ. Таким образом, сгорание топлива происходит непрерывно и под постоянным уровнем давления.

Горячие газы, созданные в камере сгорания через процесс сжигания топлива, направляются в турбину 3. Там происходит расширение газов, что

приводит к превращению их внутренней энергии, после передачи на силовую турбину, в механическую работу. Использованные газы уходят в окружающую среду, то есть в атмосферу.

Часть энергии, производимой турбиной 3, используется для вращения компрессора, а остаток (полезная энергия) передается газодинамически на силовую турбину 4, которая вращает муфту ЦБК. Компрессор потребляет значительную энергию по сравнению с полезной энергией ГТУ в простых схемах при умеренной температуре рабочего вещества, что может привести к тому, что энергия, генерируемая газовой турбиной, превышает полезную энергию ГТУ в 2-3 раза. Таким образом, полная энергия собственно газовой турбины должна быть значительно выше полезной энергии ГТУ.

Для запуска газовой турбины необходим сжатый воздух, создаваемый компрессором, который в свою очередь приводится в движение самой турбиной. Поэтому для запуска необходим стартовый источник энергии, такой как стартер. С его помощью компрессор вращается до того момента, пока не будет сформирован газ определенных характеристик и объема в камере сгорания, достаточных для работы газовой турбины.

### **2.2.2 Принцип работы центробежного компрессора**

Продольный разрез центробежного компрессора на примере ЦБК 405-1,5/101-5300/16С представлен на рисунке 5, ниже представлен его принцип работы согласно [12].

Создание поля центробежных сил в рабочих колесах обуславливает движение газа от центра рабочих колес к их перифериям. Этот процесс приводит к повышению давления в проточной части компрессора благодаря преобразованию кинетической энергии потока в потенциальную энергию давления.

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

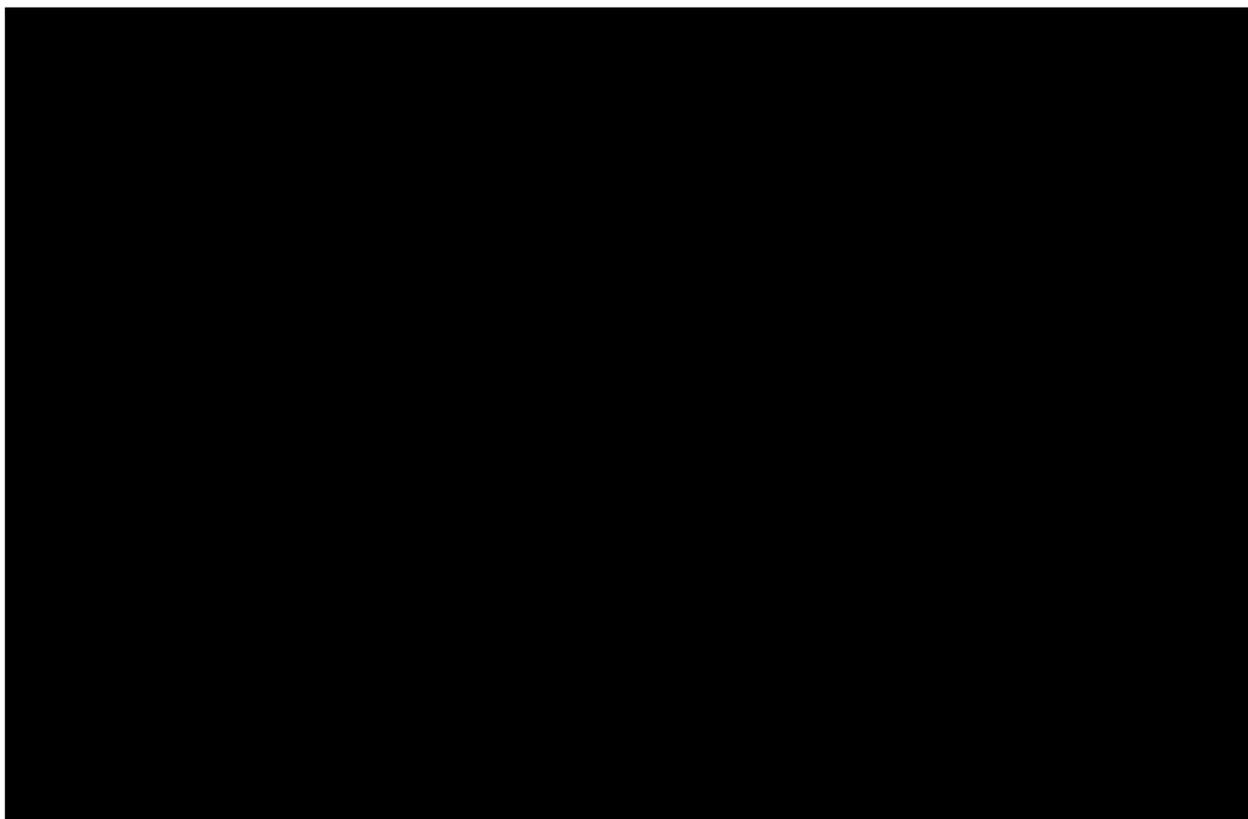


Рисунок 5 – Продольный разрез компрессора:

1 – вкладыш опорный; 2 – вкладыш упорный; 3 – крышка всасывающая; 4 – крышка нагнетательная; 5 – камера всасывания; 6 – пакет; 7 – кольцо уплотнительное; 8 – диффузор; 9 – отвод; 10 – узел системы СГУ; 11 – шпонка; 12,13 – обойма уплотнения

Компримирование газа осуществляется следующим способом. Газ поступает из всасывающего патрубка в камеру всасывания и входной направляющий аппарат, затем проходит первое рабочее колесо. Это повышает кинетическую и потенциальную энергию газа, увеличивает его скорость и давление. Затем газ проходит через лопаточный диффузор, где кинетическая энергия частично преобразуется в потенциальную, что уменьшает скорость газа и увеличивает его давление. После этого газ направляется во второе рабочее колесо через обратный направляющий аппарат. Таким образом, процесс повторяется и давление газа растет. После второго колеса газ поступает в камеру отвода, откуда он отправляется в нагнетательный патрубок и затем в нагнетательный трубопровод.

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

## 2.3 Мероприятия по техническому обслуживанию ГПА

Техническое обслуживание ГПА, как и любого другого оборудования, заключается в поддержании его работоспособности и проводится с целью предотвращения возможных отказов. Периодичность проведения ТО двигателя ГПА и агрегата в целом совпадают согласно [9].

Мероприятия по техническому обслуживанию можно разделить на 3 вида по периодичности их проведения:

- ЕО – ежедневное техническое обслуживание;
- ТО-1 – первое техническое обслуживание (через 1500 часов наработки);
- ТО-2 – второе техническое обслуживание (через 3000 часов наработки).

Ежедневное техническое обслуживание ГПА включает 3 обязательных мероприятия:

- наружный осмотр агрегата;
- дозаправка маслобаков ГТД и ЦБК (при необходимости);
- переключение на резервные фильтры (при необходимости).

Согласно руководству по эксплуатации ГПА-16У-П/100-1,5-07 [9] объём и содержание работ, выполняемых при первом и втором технических обслуживаниях, заключается в проведении определённого ряда мероприятий.

Любой блок или система прежде всего осматривается на выявление каких-либо недостатков, далее, при их обнаружении, выявленные необходимо устранить. В ряде случаев, согласованных с разработчиком ГПА, допускается не производить техническое обслуживание отдельных блоков и систем агрегата при соответствии их технических параметров требованиям эксплуатационной документации.

Мероприятия по техническому обслуживанию проводят в следующей последовательности согласно [9]:

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		38

- 1) проверка креплений и контровки всех болтовых, фланцевых, шарово-ниппельных соединений, при необходимости их подтягивание; осмотр трубопроводов и агрегатов систем маслообеспечения, суфлирования ГТД и ЦБК на отсутствие течей во фланцевых и шарово-конусных соединениях; замеченные недостатки фиксируются, следы подтеков масла устраняются. При необходимости восстанавливается герметичность стыков;
- 2) проверка и фиксация уровня масла в маслобаках двигателя и ЦБК;
- 3) очистка поддонов от масла, пыли и загрязнений; замена фильтрующих элементов (при необходимости);
- 4) осмотр системы воздухообеспечения, в том числе камеры всасывания, защитной решётки на входе в ГТД, проверка работоспособности электроприводных заслонок, устранение выявленных дефектов; замена фильтрующих элементов (при необходимости);
- 5) проверка работоспособности системы вентиляции ГТД, в том числе вентиляторов подачи воздуха, нагревателей воздуха; заменить фильтрующие элементы (при необходимости);
- 6) осмотр оборудования системы топливообеспечения ГТД, устранение выявленных дефектов; замена фильтрующих элементов (при необходимости);
- 7) проверка центровки системы «двигатель – ЦБК» (при необходимости);
- 8) проверка работы систем вентиляции и обогрева блоков ГПА, в том числе вентиляторов (обращается внимание на отсутствие посторонних шумов и задеваний вращающихся деталей о неподвижные);

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
						39
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- 9) ТО моечного устройства ТПМ02С-1, установленного в блоке систем обеспечения №1 (согласно требованиям эксплуатационной документации, поставляемым с данным оборудованием);
- 10) ТО газомасляного теплообменника (согласно требованиям эксплуатационной документации, поставляемым с данным оборудованием);
- 11) ТО АВО масла, применяемого в системе маслообеспечения ЦБК (согласно требованиям эксплуатационной документации, поставляемым с данным оборудованием);
- 12) ТО ЦБК (согласно требованиям эксплуатационной документации, поставляемым с данным оборудованием);
- 13) ТО ГТД (согласно требованиям эксплуатационной документации, поставляемым с данным оборудованием);
- 14) ТО автоматической системы противопожарной защиты (согласно требованиям эксплуатационной документации, поставляемым с данным оборудованием);
- 15) ТО САУ ГПА (согласно требованиям эксплуатационной документации, поставляемым с данным оборудованием);
- 16) проверка состояния защитных и лакокрасочных покрытий (при необходимости восстановление покрытий).

					<i>Характеристика компрессорного цеха, назначение основных элементов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

### 3. Повышение эффективности работы оборудования КЦ

На сегодняшний день существует много различных способов повышения эффективности работы оборудования как газоперекачивающего агрегата, так и компрессорного цеха в целом.

В процессе анализа современных публикаций, патентов, нормативно-технической и эксплуатационной документации были выявлены наиболее перспективные на сегодняшний день методы повышения энергоэффективности, соответствующих исходной цели в рамках данной работы для существующих компрессорных станций, а также для строящихся и планируемых для ввода в эксплуатацию в ближайшие несколько лет.

#### 3.1 Совершенствование процесса ТО агрегата

Развитие газотранспортного производства согласно [17] всегда направлено на повышение энергетической эффективности эксплуатируемого оборудования и его энергосбережение. Данное производство включает в себя непосредственно процесс перекачки природного газа, то есть работу оборудования, а также техническое обслуживание и ремонт данного оборудования.

С точки зрения усовершенствования существующего процесса технического обслуживания остановимся на мероприятиях ТО газотурбинного двигателя.

Как и в любом технологическом процессе, в работе газоперекачивающего агрегата, представляющего собой основное оборудование КЦ, присутствуют «слабые места», влияющие на энергоэффективность. Одним из таких мест является выброс в атмосферу большого количества природного газа в процессе технического обслуживания

					Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Белосов Л.А.			<b>Повышение эффективности работы оборудования КЦ</b>	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					41	104
Рук-ль ООП		Чухарева Н.В.				Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		

агрегата и, в частности, в процессе ТО газотурбинной установки или газотурбинного двигателя.

В качестве мероприятия технического обслуживания для совершенствования в данной работе выделим ТО газотурбинного двигателя.

При эксплуатации газотурбинных двигателей на протяжении длительного времени происходит постепенное уменьшение их мощности и КПД из-за загрязнения компрессора отложениями. Это приводит к снижению мощности до 2 МВт и КПД до 4%, что ведет к увеличению расхода топлива и, в некоторых случаях, к необходимости запуска резервного двигателя из-за недостатка мощности [18].

Таким образом, одним из обязательных мероприятий по ТО ГТД является промывка газовоздушного тракта ГТУ.

Промывка осуществляется с помощью моечного устройства ТПМ02С-1 путём подачи моечного раствора в осевой компрессор совместно с запуском алгоритма «Промывка ГТД» в САУ ГПА [13] при холодной прокрутке двигателя.

С точки зрения управления, на данный момент в мероприятии технического обслуживания промывка газовоздушного тракта газотурбинного двигателя на большинстве компрессорных станций реализуется, с помощью САУ ГПА Неман-Р-20-01-0739, алгоритм промывки «Промывка ГТД» – он представлен в приложении Г [14]. В данном алгоритме согласно [19] была выявлена проблема выброса большого количества природного газа в атмосферу, влияющая на энергоэффективность компрессорного цеха в целом, так как техническое обслуживание газоперекачивающих агрегатов является неотъемлемой частью эксплуатации оборудования КЦ.

В качестве организационно-технического мероприятия по повышению эффективности работы оборудования КЦ рассмотрим предложение, заключающееся в корректировке алгоритма «Промывка ГТД».

					<i>Повышение эффективности работы оборудования КЦ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

Одним из этапов действующего алгоритма является обязательный пуск системы подачи буферного газа – данный этап выделен на рисунке 6 согласно приложению Г [14].

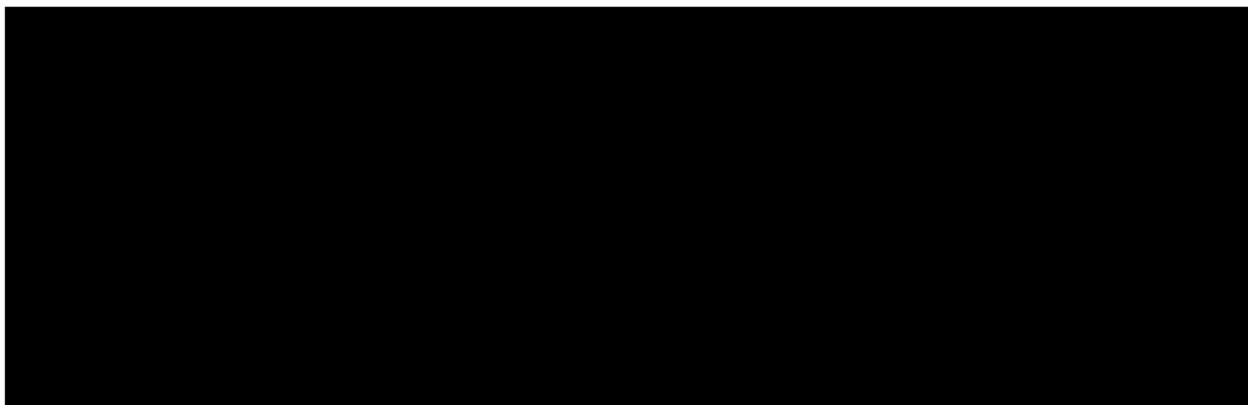


Рисунок 6 – Часть действующего алгоритма «Промывка ГТД»

Подача буферного газа на СГУ ЦБК осуществляется с целью отделения газа в компрессоре от масла в подшипниках. Однако в процессе эксплуатации согласно [19], а также в процессе детального изучения руководств по технической эксплуатации 83-00-496 РЭ ГТУ-16П [13] и ГПА-16У-П/100-1,5-07 [9] было выявлено, что при техническом обслуживании ГПА включая ТО ГТУ, контур центробежного компрессора уже должен быть стравлен (то есть освобождён от газа, который, в процессе нормальной работы двигателя и ЦБК, находятся там под большим давлением).

Таким образом, предложение корректировки алгоритма «Промывка ГТД» заключается в исключении обязательного условия запуска этапа «Пуск системы подачи буферного газа» в связи с нецелесообразностью использования буферного газа при отсутствии газа в контуре компрессора.

Благодаря корректировке алгоритма, в процессе технического обслуживания и, соответственно, в процессе эксплуатации ГПА возможно сократить выброс природного газа в атмосферу, эффективно использовать природный газ, а также снизить время, затрачиваемое на промывку, тем самым повысить показатели энергоэффективности компрессорного цеха.

					<i>Повышение эффективности работы оборудования КЦ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

Далее в работе будет представлен технологический расчёт, подтверждающий данный вывод о повышении эффективности работы оборудования КЦ с применением нового алгоритма проведения мероприятия ТО «Промывка ГТД».

На рисунке 7 представлен проект-схема нового алгоритма «Промывка ГТД» согласно [19].

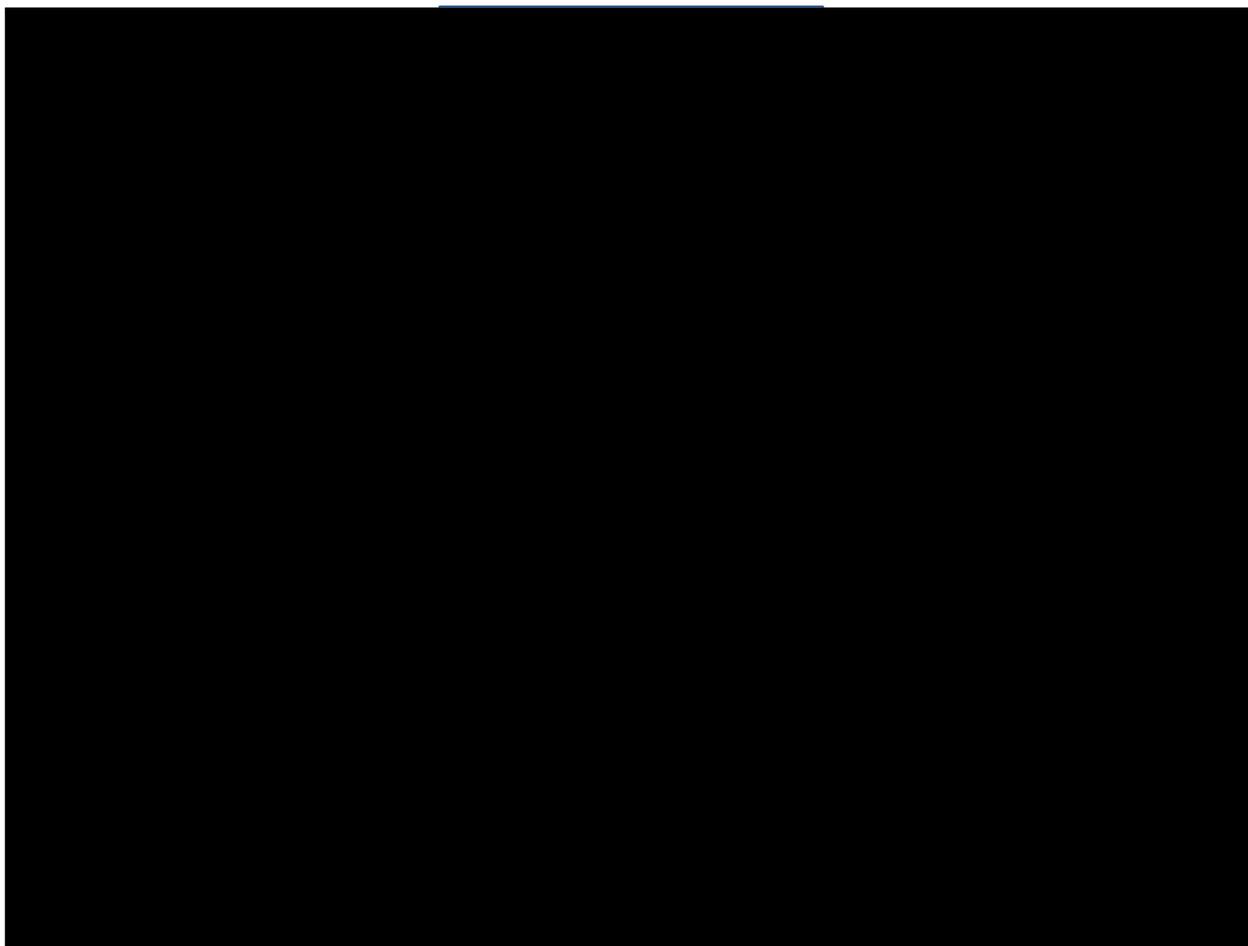


Рисунок 7 – Проект нового алгоритма «Промывка ГТД»

### 3.2 Обоснование повышения эффективности

Согласно [13] процесс промывки газоздушного тракта включает в себя 3 цикла по 5 промывок. В общей сложности получаем результат из 15 пусков в алгоритме «Промывка ГТД» и, соответственно, 15 циклов заполнения-сравливание буферного газа. Стоит учесть, что при каждом

					<i>Повышение эффективности работы оборудования КЦ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

заполнении системы буферным газом происходит продувка в течении 15 секунд давлением 9.8 МПа.

Согласно графику проведения технического обслуживания ГПА на 2023 год запланировано провести 11 ТО, 7 из которых приходятся на благоприятные условия для проведения промывки (температура окружающего воздуха не ниже -15 градусов Цельсия). График представлен на рисунке 8 согласно [19].

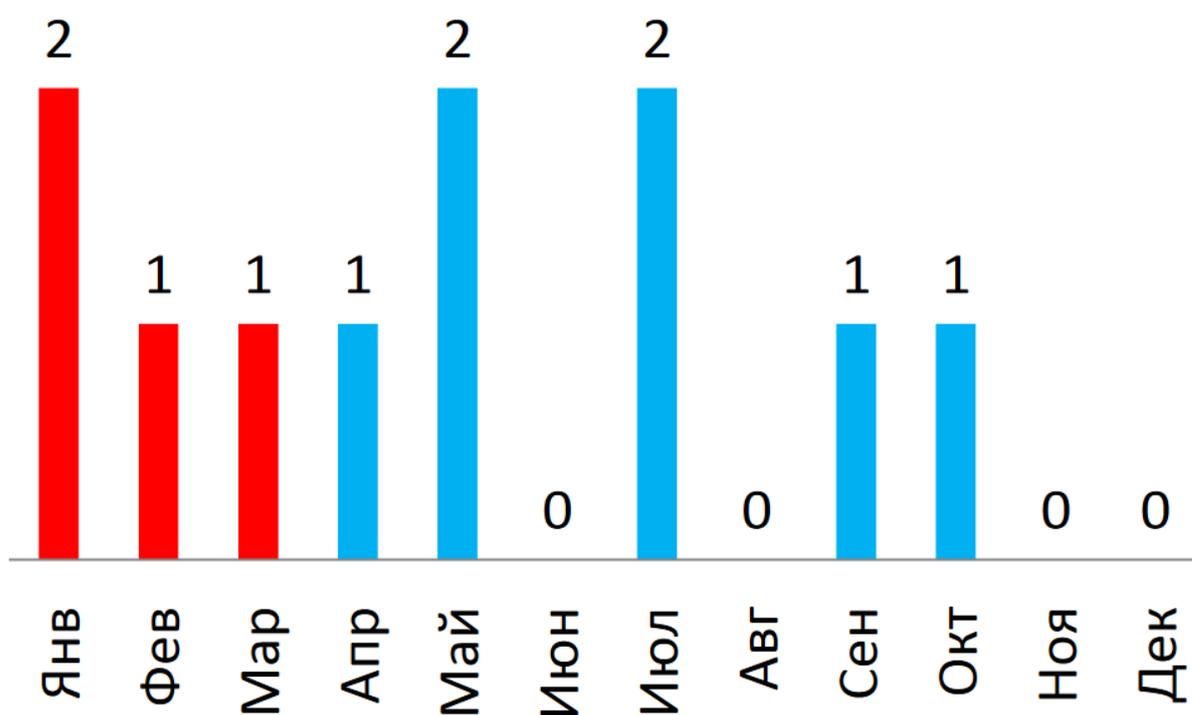


Рисунок 8 – График проведения ТО ГПА на 2023 год

Далее приведён расчёт количества стравливаемого буферного газа в процессе промывки согласно РД 153-39.0-111-2001 [20], [19] и экспериментальных данных, представленных в приложении Д.

Расчёт объёма стравливаемого газа в атмосферу при опорожнении стойки СГУ и трубопроводов буферного газа выполнен согласно [20]:

$$V_{\text{страв}} = V_{\text{ст}} + V_{\text{тп}} \quad (3.1)$$

где  $V_{\text{ст}}$  – геометрический суммарный объём стойки СГУ и трубопроводов буферного газа согласно проектной документации [19];

— абсолютное давление газа перед началом опорожнения, согласно [12];

— абсолютное давление газа после опорожнения, равное атмосферному давлению согласно приложению Д;

— коэффициент сжимаемости газа перед началом опорожнения [19];

— коэффициент сжимаемости газа после опорожнения, при атмосферном давлении согласно приложению Д.

Расчёт объёма стравливаемого газа в атмосферу при продувке системы трубопроводов буферного газа в течение 15 секунд согласно [20] (расход газа при продувке в режиме критического истечения):

$$(3.2)$$

где  $F$  – площадь сечения трубы, через которую проводят продувку (радиус трубопровода буферного газа  $r = 0,025$ , согласно [12]);

$P = 99,3$  кгс/см<sup>2</sup> - давление газа перед сечением трубопровода буферного газа, через который производится продувка;

$t = 15$  с – время продувки [13].

Расчёт стравливаемого газа в атмосферу при проведении одного ТО ГТД будет равен сумме  $V_1$  и  $V_2$  при выполнении трёх циклов по 5 промывок [19]:

$$(3.3)$$

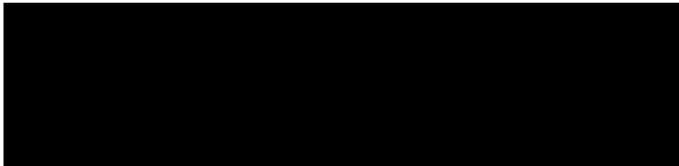
Таким образом, согласно графику проведения технического обслуживания агрегата на 2023, при выполнении 7 ТО ГПА, количество стравливаемого газа в атмосферу в год составит:

$$(3.4)$$

где  $x = 7$  – количество ТО ГПА в год.



В денежном эквиваленте экономия составит (если принять стоимость 1 м<sup>3</sup> равной 4,55 рублей согласно тарифу потребляемого газа на собственные нужды станции):



(3.5)

Данный расчёт подтверждает вывод о повышении эффективности работы оборудования КЦ с применением нового алгоритма проведения мероприятия ТО «Промывка ГТД». Корректировка алгоритма позволит сэкономить 92,5 тыс. м<sup>3</sup> природного газа в год, затрачиваемого на продувку в действующем алгоритме.

В будущем, реализация данного позволит повысить эффективность использования природного газа, снизить его выбросы в атмосферу, а также сократить время, затрачиваемое на «Промывку ГТД» в процессе технического обслуживания и, соответственно, в процессе эксплуатации ГПА, тем самым повысить показатели энергоэффективности компрессорного цеха.

					<i>Повышение эффективности работы оборудования КЦ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

#### 4. Расчётная часть

В качестве технологического расчёта для данной работы был выбран расчёт по подбору оборудования для газоперекачивающего агрегата, а именно центробежного нагнетателя, а также расчёт газодинамической устойчивости данного нагнетателя, использующего в качестве привода двигатель ПС-90ГП-2. Расчёт выполнен согласно [21].

На рисунке 9 представлены газодинамические характеристики компрессора 398-22-3 согласно [21]. Номинальные параметры компрессора с введенными обозначениями представлены в таблице 2 согласно [21].

Газодинамические характеристики компрессора 398-22-3,  
расчётные величины:  $k = 1.312$ ,  $Z = 0.9$ ,  $R = 511.5$  Дж/(кг·К),  $T_H = 288$ К,  $n_{ном} = 5300$  об/мин

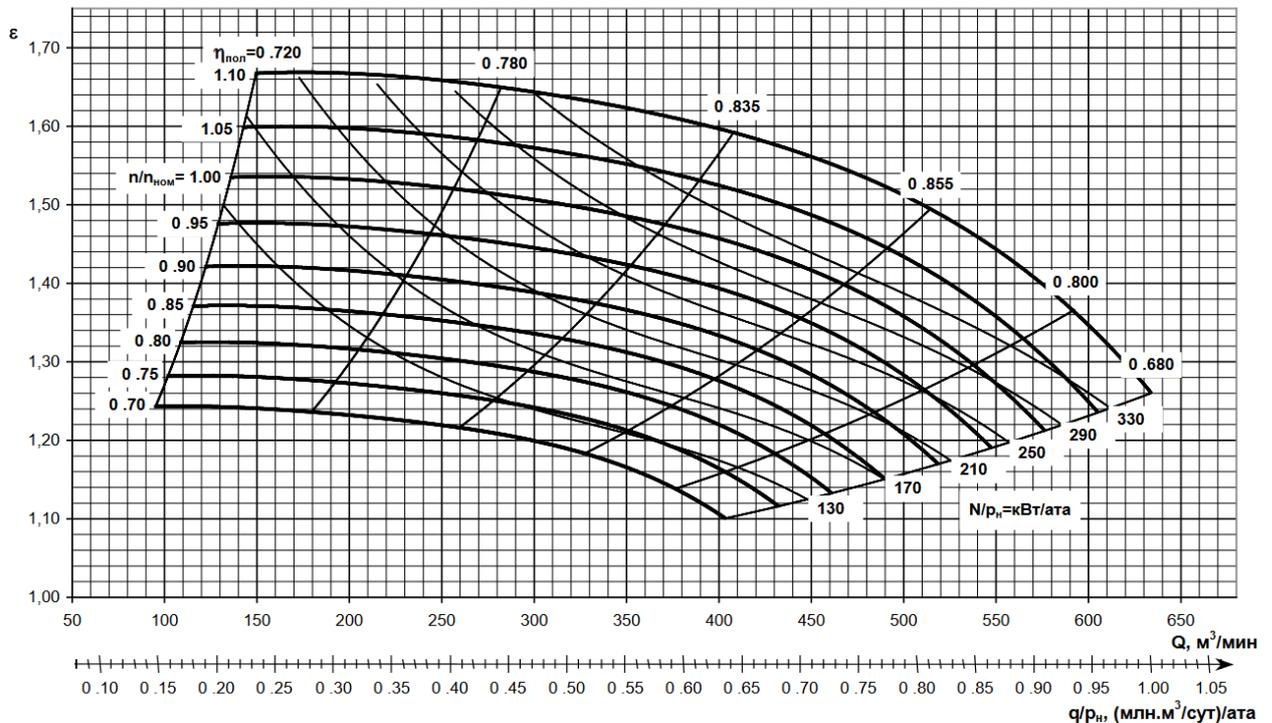


Рисунок 9 – Газодинамические характеристики компрессора 398-22-3

Таблица 2 – Номинальные параметры компрессора 398-22-3

Тип компрессора	Обозначение	98-23-1Л
Тип привода	-	ПС-90ГП-2

					Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Белоусов Л.А.			Расчетная часть	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					48	104
Рук-ль ООП		Чухарева Н.В.				Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		

Продолжение таблицы 2

Номинальная мощность, МВт	$N_n$	16,0
Степень сжатия	$\epsilon_n$	1,4
Производительность коммерческая, млн.м <sup>3</sup> /сут	$Q_{ком.н}$	40
Производительность объемная, млн.м <sup>3</sup> /мин	$Q_{об.н}$	465
Политропный КПД	$\eta_{пол.н}$	0,85
Номинальные обороты, об/мин	$n$	5300
Тип корпуса	-	С вертикальным разъемом

Необходимые расчётные параметры представлены в таблице 3 с заданными обозначениями в соответствии с основными параметрами работы ГПА КС-4 Иван Москвитин, представленными в приложении Е.

Таблица 3 – Основные расчётные параметры

Параметр	Обозначение	Значение
Номинальные частота вращения, об/мин	$n$	
Механический КПД	$\eta_{мех}$	
Термодинамические параметры: температура газа на входе, К; давление газа на входе, МПа; давление газа на выходе, МПа.	$T_n$ $P_n$ $P_k$	
Коммерческая производительность, млн.м <sup>3</sup> /сут	$Q_k$	
Расчетные величины согласно газодинамической характеристике нагнетателя		
Показатель адиабаты	$k$	
Коэффициент сжимаемости газа	$Z$	
Газовая постоянная, Дж/(кг · К)	$R$	
Температура газа на входе, К	$T_n$	

Определим фактическую степень сжатия нагнетателя, как отношения фактических давлений на входе и выходе нагнетателя:

(4.1)

Далее рассчитаем относительную коммерческую производительность (начальное давление возьмем в атмосферах):

(4.2)

где  $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения на поверхности Земли.

Далее согласно газодинамической характеристике нагнетателя, представленной на рисунке 9, определим следующие параметры. Данные в графическом виде на рисунке 10 и в окончательном виде – в таблице 4.

Газодинамические характеристики компрессора 398-22-3,  
расчётные величины:  $k = 1.312$ ,  $Z = 0.9$ ,  $R = 511.5 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $T_n = 288\text{К}$ ,  $n_{ном} = 5300 \text{ об/мин}$

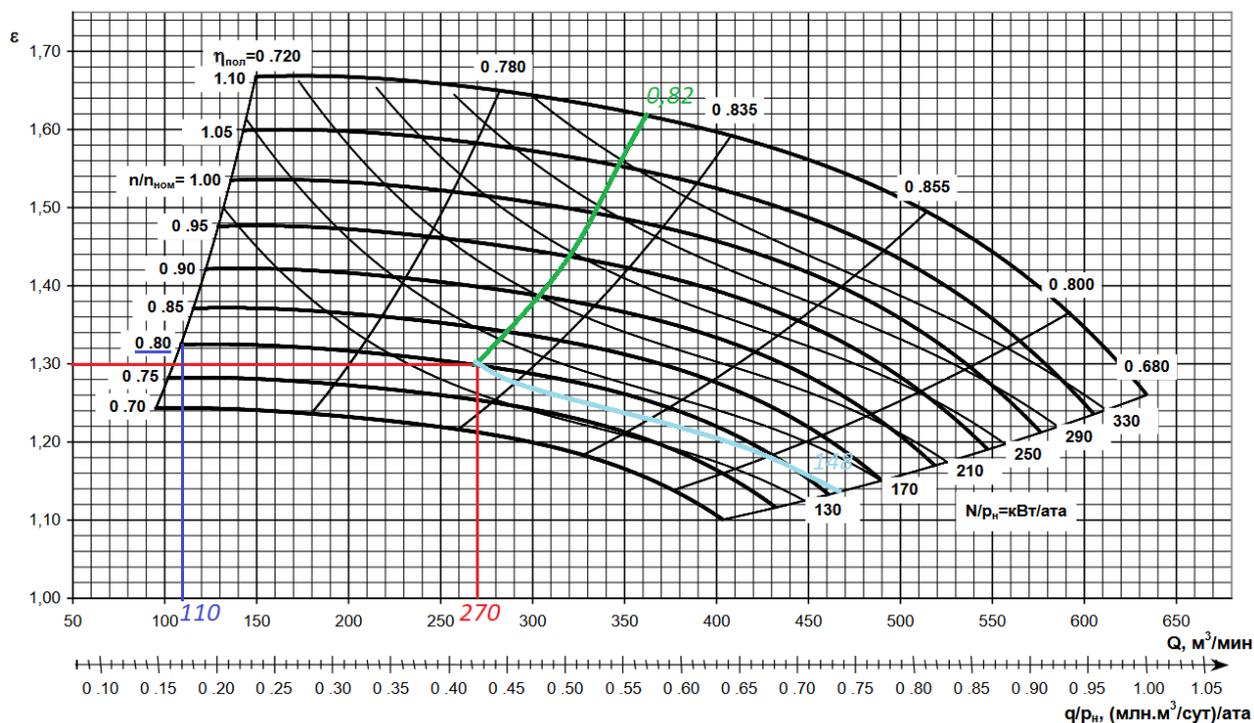


Рисунок 10 – Графическое определение эксплуатационных параметров компрессора.

Таблица 4 – Результаты анализа газодинамической характеристики

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Объемный расход газа по условиям всаса, м <sup>3</sup> /мин	$Q$	
Относительная частота вращения	$n/n_{ном}$	
Политропный КПД	$\eta_{пол}$	
Относительная внутренняя мощность нагнетателя, кВт/атм	$N/P_n$	
Минимальное значение расхода, м <sup>3</sup> /мин	$Q_{min}$	

Рассчитаем внутреннюю мощность привода (начальное давление так же переведем в атмосферы):

$$\text{[Redacted Formula]} \quad (4.3)$$

Определение эффективной мощности газотурбинного привода:

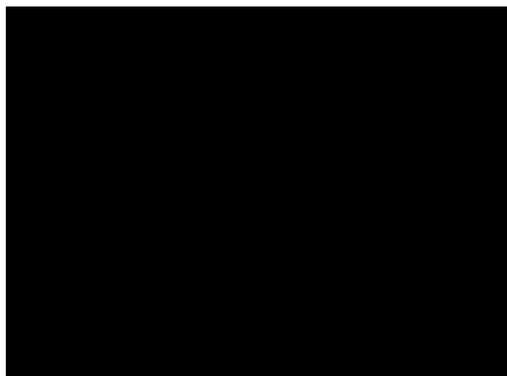
$$\text{[Redacted Formula]} \quad (4.4)$$

Удаленность от границы помпажа рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{[Redacted Formula]} \quad (4.5)$$

Проведём оценку выполнения условий для определения совместимости данного компрессора в составе рассматриваемого ГПА. Для полной совместимости необходимо одновременное выполнение трёх условий: условие потребления мощности, условие политропных КПД, сравнение фактической степени сжатия с номинальной.

(4.6)



Соответственно, выполняются все три условия. На основании проведённого расчёта можно сделать вывод о том, что данный центробежный нагнетатель подходит для заданного режима работы компрессорной станции магистрального газопровода. Он имеет хорошую газодинамическую устойчивость, равную 60% (в нормальных условиях она должна превышать минимальные значения 10-12%).

					<i>Расчетная часть</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

## 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Для осуществления транспортировки природного газа в газотранспортной системе Российской Федерации используется 253 компрессорные станции (КС). Большинство компрессорных станций были введены в эксплуатацию в 1960-70-е годы, в период начала интенсивного развития газовой промышленности. Основным видом оборудования КС являются газоперекачивающие агрегаты (ГПА), которые на сегодняшний день физически истощены, морально устарели и выработали свой ресурс. По данным ПАО «Газпром» около 13% ГПА имеют наработку более 100000 часов, 49% - более 50000 часов. Около 9% добываемого газа расходуется на привод компрессоров, т.е. используется как топливный газ.

В большинстве случаев КС оборудуют центробежными нагнетателями с приводом от газотурбинных установок или электродвигателей. В настоящее время газотурбинным приводом оснащено более 80% всех КС, а электроприводом – около 20%. Именно в силу своей распространенности в данном разделе будут рассмотрены ГПА с газотурбинным приводом (ГТПА).

### 5.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование представлено в таблице 5.1. Основные составляющие части финансового расчёта:

- 1) Продукт: газоперекачивающий агрегат с газотурбинным приводом.
- 2) Целевой рынок: рынок предприятия газовой отрасли промышленности.

					Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Белоусов Л.А.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					53	104
Консульт.						Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		
Рук-ль ООП		Чухарева Н.В.						

Таблица 5.1 - Сегментирование рынка услуг по подбору газоперекачивающих агрегатов

Размер компании	Отрасль	
	Производители ГГПА	Потребители ГГПА
Крупные		
Средние		
Мелкие		

- ПАО НПО «Искра»
- АО «РЭП Холдинг»
- ООО «Газпром трансгаз Югорск»
- ООО «Газпром трансгаз Томск»
- ООО «Газпром трансгаз Махачкала»

По таблице можно сделать вывод, что основные сегменты рынка – крупные и средние компании. Это означает, что наиболее перспективным сегментом в отраслях газовой промышленности для формирования спроса является группа крупных и средних производителей ГГПА.

## 5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентноспособных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для её будущего.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum_{i=1}^n B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единиц);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>Ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>Ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Срок службы	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
2. Ремонтопригодность	0,13	4	4	4	0,52	0,52	0,52
3. Надежность	0,1	3	4	3	0,3	0,4	0,3
4. Простота ремонта	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
5. Удобство в эксплуатации	0,11	3	2	2	0,33	0,22	0,22
6. Уровень шума	0,08	3	2	4	0,24	0,16	0,32
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	4	3	2	0,32	0,24	0,16
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	3	5	2	0,09	0,15	0,06
3. Цена	0,07	3	3	3	0,21	0,21	0,21
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
5. Послепродажное обслуживание	0,02	4	4	4	0,08	0,08	0,08
6. Наличие финансирования	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
Итого	1	44	40	39	3,71	3,24	3,29

Б<sub>Ф</sub> – ГПА 16 «Ладога»;

Б<sub>к1</sub> – ГПА-16 «Волга»;

Б<sub>к2</sub> – ГПА-16 «Урал».

По таблице 5.2 видно, что наиболее эффективно использовать газоперекачивающий агрегат ГПА-16 «Ладога», так как он является наиболее конкурентоспособным по отношению к другим видам, имеющимся на рынке. Кроме того, ГПА-16 «Ладога» имеет ряд преимуществ, к которым относятся долгий срок службы ГПА, а также небольшие выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, что немаловажно на рынке.

### 5.3 SWOT-анализ

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

На первом этапе обычно описываются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты SWOT-анализа исследования, проведенного в рамках данной выпускной квалификационной работы, представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны проекта:</b>	<b>Слабые стороны проекта:</b>
	<p>С1. Высокая энергоэффективность технологий.</p> <p>С2. Долгий срок службы.</p> <p>С3. Низкий уровень вредных выбросов.</p> <p>С4. Полученные теоретические эксплуатационные</p>	<p>Сл1. Сложные климатические условия.</p> <p>Сл2. Нехватка квалифицированных специалистов.</p> <p>Сл3. Отсутствие информации от производителей о возможных проблемах при эксплуатации.</p>

Продолжение таблицы 5.3

	характеристики.	
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инфраструктуры НИ ТПУ.</p> <p>В2. Проведение совместных исследований с потребителями.</p> <p>В3. Наличие потребителей.</p> <p>В4. Появление и применение нового оборудования</p>	<p>1. Наличие эксплуатационных характеристик в связке с использованием инфраструктуры ТПУ и совместными исследованиями с потребителями позволяет улучшить оборудование.</p> <p>2. Применение нового оборудования улучшит эксплуатационные характеристики.</p>	<p>1. Переподготовка специалистов.</p> <p>2. Привлечение молодых специалистов, в том числе выпускников ВУЗов.</p> <p>3. Сложные климатические условия требуют дополнительных исследований, в том числе финансируемых потенциальными потребителями.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Возможное появление более совершенных технологий производства.</p> <p>У2. Возможное дополнительное сертифицирование производства.</p> <p>У3. Рост стоимости импортных комплектующих.</p>	<p>1. Появление более совершенных технологий может помочь текущему проекту снизить число вредных выбросов.</p> <p>2. Дополнительное сертифицирование производства может привести к ужесточению требований для эксплуатируемого оборудования и, увеличению срока службы.</p>	<p>1. Рост стоимости Импортных комплектующих может привести к свертыванию проекта.</p> <p>2. Отсутствие информации от производителей может помешать исследованию, привести к ошибкам проектирования.</p>

## 5.4 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор направления исследований	Руководитель, исполнитель
Выбор направления исследований	2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
	3	Подбор и изучение	Исполнитель
	4	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Поиск необходимых параметров для построения	Исполнитель
	6	Расчет и построение модели ГПА	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка результатов исследования	Руководитель, исполнитель

Продолжение таблицы 5.4

Оформление отчета исследовательской работы	8	Составление пояснительной записки	Руководитель, исполнитель
--	---	-----------------------------------	---------------------------

### 5.4.2 Определение трудоемкости работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{min_i} + 2 \cdot t_{max_i}}{5}, \quad (5.2)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_r$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.3)$$

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

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

### 5.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5.4)$$

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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых/пр}}}, \quad (5.5)$$

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

$T_{\text{вых/пр}}$  – количество выходных и праздничных дней в году;

В 2023 году:  $T_{\text{кал}} = 365$  дней,  $T_{\text{вых/пр}} = 118$ . Подставим численные значения в формулу:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляются до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел.-дн.	$t_{max}$ , чел.-дн.	$t_{ож}$ , чел.-дн.			
Календарное планирование работ по теме	4	8	5,6	Руководитель и бакалавр	3	4
Постановка цели и задач исследования	4	8	5,6	Руководитель и бакалавр	3	4
Литературный обзор	13	19	15,4	Бакалавр	15	23
Составление и утверждение технического задания	8	13	10	Руководитель	10	15
Проведение теоретического анализа существующих технических решений	10	15	12	Бакалавр	12	18
Исполнение теоретических расчетов и выводы по ним	18	24	20,4	Бакалавр	20	30
Оценка результатов исследования	6	9	7,2	Руководитель и бакалавр	4	5
Составление пояснительной записки	10	15	12	Руководитель и бакалавр	6	9

На основе таблицы 5.5 строим план график, представленный в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Календарный план график проведения НИР по теме

№	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал . дни	Продолжительность выполнения работ											
				Фев.		Март		Апрель		Май					
1	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр	4	■											
2	Постановка цели и задач исследования	Руководитель, бакалавр	4	■											
3	Литературный обзор	Бакалавр	23			■									
4	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	15					■							
5	Проведение теоретического анализа существующих технических решений	Бакалавр	18							■					
6	Исполнение теоретических расчетов и выводы по ним	Бакалавр	30									■			
7	Оценка результатов исследования	Руководитель, бакалавр	5											■	
8	Составление пояснительной записки	Руководитель, бакалавр	9											■	

## 5.5 Бюджет научно-технического исследования

### 5.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

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

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_M) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i}, \quad (5.6)$$

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

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

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

$N_{расх\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.).

Результаты расчётов представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, Z <sup>м</sup> , руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Программы Microsoft Office	шт.	3	1	5	1500	1500	1500	4500	1500	7500
Бумага для принтера	шт.	500	100	300	0,5	0,5	0,5	250	50	156
Электроэнергия	кВт/ч	250	200	270	4,5	4,5	4,5	1125	900	1215

Продолжение таблицы 5.7

Итого:	5875	2450	8871
--------	------	------	------

### 5.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Сюда включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (программного обеспечения), необходимого для проведения работ по конкретной теме (таблица 5.8). Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 5.8 – Расчет затрат на оборудование

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, З <sup>м</sup> , руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Компьютер	шт.	1	1	1	50000	30000	40000	50000	30000	40000
Принтер	шт.	1	1	1	7000	5000	7000	7000	5000	7000
Программы Office	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Итого:								58000	36000	48000

### 5.5.3 Основная заработная плата исполнителей работы

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (5.7)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.;

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (5.8)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дней  $M=11,2$  месяцев, 5 – дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала в рабочие дни.

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (k_p + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) + Z_{\text{тс}}, \quad (5.9)$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент ( $k_{\text{пр}} = 0,3$ , т. е. 30% от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок ( $k_{\text{д}} = 0,2$ , т. е. 20% от  $Z_{\text{тс}}$ );

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

Результаты расчётов представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{\text{тс}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$ , %	$k_{\text{д}}$ , %	$k_p$ , %	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель проекта	38000	30	20	30	68400	8512	9,25	78736
Студент	1400	30	20	30	2520	313,6	27,5	8624
Итого, $Z_{\text{осн}}$ :								81144

#### 5.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей работы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за

отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (5.10)$$

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

Результаты расчётов представлены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	0,15	78736	11810
Студент	0,15	8624	1294
Итого:		87360	13104

### 5.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.11)$$

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

Результаты расчётов представлены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	78736	11810
Студент	8624	1294
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%	
Итого:	30139	

### 5.5.6 Накладные расходы

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

Накладные расходы определяются по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (5.12)$$

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

$$Z_{\text{накл1}} = (5875 + 58000 + 87360 + 13104 + 30139) \cdot 0,16 = 31116 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{накл2}} = (2450 + 36000 + 87360 + 13104 + 30139) \cdot 0,16 = 27048 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{накл3}} = (8871 + 48000 + 87360 + 13104 + 30139) \cdot 0,16 = 29996 \text{ руб}.$$

### 5.5.7 Формирование бюджета затрат научно–исследовательской работы

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Результаты расчётов представлены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НИИ	5875	2450	8871	Пункт 3.1
2. Затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	58000	36000	48000	Пункт 3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	87360			Пункт 3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13104			Пункт 3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	30139			Пункт 3.5
6. Накладные расходы	31116	27048	29996	16% от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	225594	200169	218590	Сумма ст. 1-6

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

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

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

Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым

соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.13)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно–исследовательского проекта (в том числе аналоги).

Для 1-го варианта исполнения:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}1} = \frac{225594}{225594} = 1.$$

Для 2-го варианта исполнения:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}2} = \frac{200169}{225594} = 0,89.$$

Для 3-го варианта исполнения:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}3} = \frac{218590}{225594} = 0,97.$$

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.13)$$

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

$a_i$ – весовой коэффициент разработки;

$b_i$ – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Результаты расчётов представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии объекта исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Способствует росту производительности	0,1	5	4	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5	4
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4	4
4. Энергосбережение	0,20	3	3	2
5. Надежность	0,25	3	3	2
6. Материалоемкость	0,15	5	3	4
Итого	1	3,55	3,8	3,2

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}^{исп1}} = \frac{3,55}{1} = 3,55;$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}^{исп1}} = \frac{3,8}{0,89} = 4,3;$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}^{исп1}} = \frac{3,2}{0,97} = 3,3.$$

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

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

$$\mathcal{E}_{срi} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Результаты расчётов представлены в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,89	0,97
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,55	3,8	3,2
3	Интегральный показатель эффективности	3,55	4,3	3,3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,83	1,30	0,93

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

**Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения, был произведен SWOT-анализ. Также был посчитан бюджет НИИ, основная часть которого приходится на материальные затраты, связанные с приобретением оборудования и материалов. Была посчитана ресурсная, финансовая, бюджетная, социальная и экономическая эффективность исследования. Был выбран лучший вариант разработки.

## 6. Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа посвящена анализу технических решений, направленных на повышение энергоэффективности и безопасности работы компрессорной станции. Объектом исследования является компрессорный цех газоперекачивающего агрегата, применяемого на газопроводе «Сила Сибири» для поддержания давления природного газа при транспортировке.

В качестве персонала, работающего на компрессорной станции, рассматривается машинист технических компрессоров. Рабочим местом машиниста является машинный зал газоперекачивающего агрегата. Машинист технических компрессоров имеет следующие должностные обязанности: обслуживание основных элементов технологической обвязки объектов компрессорной станции, запуск и остановка газоперекачивающих агрегатов, выполнение несложных регулировочных работ на газоперекачивающем технологическом оборудовании и всех видов регулировочных работ общестанционного оборудования и участие в ремонте компрессоров, их приводов, аппаратов, узлов коммуникаций и вспомогательного оборудования цехов.

Целью данного раздела является рассмотрение правовых и организационных вопросов обеспечения производственной и экологической безопасности, а также безопасности в чрезвычайных ситуациях на компрессорной станции.

### 6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

На компрессорной станции принят вахтовый режим отдыха труда – 2

					Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Белоусов Л.А.			<b>Социальная ответственность</b>	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.					72	104
Консульт.						Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		
Рук-ль ООП		Чухарева Н.В.						

месяца с одним выходным днем в неделю и продолжительностью рабочего дня на вахте 10 часов. По окончании вахтовой работы работникам за переработанное время предоставляется межвахтовый отдых в местах постоянного жительства. Продолжительность межвахтового отдыха определяется суммой часов, переработанных сверх установленного законодательством времени в течение вахты. Действующая с 24 апреля 2020 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации [1]:

1) сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);

2) ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);

3) повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).

Обработка персональных данных у работников может осуществляться только в целях обеспечения и соблюдения законов и иных нормативно-правовых актов в целях содействия работникам в трудоустройстве, продвижения по службе, обеспечении личной безопасности работников.

Персональные данные работника могут быть получены только на него самого. При передаче персональных данных работника работодатель не должен сообщать данные третьей стороне без письменного согласия работника за исключением случаев, когда это необходимо для предупреждения угроз жизни и здоровья работника. Лица, получающие и имеющие персональные данные работника, должны соблюдать режим секретности (конфиденциальности). В случае нарушения законодательства РФ в области персональных данных лица, совершившие данное нарушение, привлекаются к ответственности.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73

Система оплаты труда предусматривает установление должностных окладов и тарифных ставок с учетом квалификации и деловых качеств, текущее премирование за результаты производственной деятельности работников, доплаты и надбавки в зависимости от условий труда и объема выполняемых работ, а также выплату вознаграждения по итогам работы.

Единые корпоративные нормы по оплате труда закреплены в Типовом положении об оплате труда работников организаций ПАО «Газпром» [2]. По ст. 219 ТК РФ все трудящиеся вправе претендовать на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда и ГОСТам: 12.2.003, 12.3.002, 12.2.032, 12.2.033, 12.2.049.

Руководители организаций обязаны заботиться о правильной организации мест труда. Это позволяет не только обезопасить сотрудников, но также рационально расходовать время трудящихся.

Общие требования к организации рабочего места:

- отсутствие лишних объектов;
- достаточность места;
- рабочее место должно хорошо освещаться и проветриваться.

## **6.2 Производственная безопасность: анализ выявленных вредных и опасных природных факторов**

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 все вредные и опасные производственные факторы по природе их воздействия подразделяют на факторы, воздействие которых носит физическую, химическую и биологическую природу [3].

В результате анализа работы машиниста технологических компрессоров на компрессорной станции были выявлены следующие вредные и опасные производственные факторы. Данные факторы представлены в таблице 6.1.

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

Таблица 6.1 – Опасные и вредные производственные факторы при работе машиниста технологических компрессоров

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Изготовление	Эксплуатация	
<b>Вредные производственные факторы</b>			
1. Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума	Есть	Есть	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [4].
2. Повышенный уровень общей вибрации	Есть	Есть	ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования [5].
3. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождение работника	Есть	Есть	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [6].
4. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	Есть	Есть	СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение [35].
<b>Опасные производственные факторы</b>			
1. Сосуды и аппараты под высоким давлением	Есть	Есть	ГОСТ 12.2.085-2002 Сосуды, работающие под давлением. [7].
2. Производственные факторы, связанные с электрическим током	Есть	Есть	ГОСТ 12.1.019-2017. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [35]

Продолжение таблицы 6.1

3. Пожаровзрывоопасность	Есть	Есть	ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов [8].
4. Вещества, обладающие острой токсичностью по воздействию на организм (ядовитые вещества/химикаты/химическая продукция)	Есть	Есть	ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [36].

## 6.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

### 6.2.1 Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума

Чрезмерный уровень шума оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье людей. При повышенном уровне шума орган слуха вынужден приспосабливаться к таким условиям и его чувствительность снижается. Также у людей, работающих в условиях повышенного шума, чаще страдают от гипертонической болезни сердца, увеличению вероятности возникновения инфаркта миокарда.

Основными источниками шума на компрессорной станции считаются ГПА и АВО газа, соответственно машинист технологических компрессоров потенциально вследствие своей работы может получить значительные проблемы со слухом. Следовательно, на предприятии должны быть приняты меры по защите работников от промышленного шума.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [4] работодатель обязан обеспечить посредством принятия соответствующих мер безопасность при воздействии шума на работников. Эти требования учтены в газоперекачивающих агрегатах ГПА-32 «Ладога» и ГПА-16 «Ладога». В

частности, газотурбинные установки и рамы вспомогательных устройств обладают кожухом шумотеплоизолирующей рамы. Щит управления компрессорным цехом находится за звукопроницаемым стеклом, а при работе с оборудованием машинисты обеспечены СИЗ: вкладышами «Беруши», наушниками.

Условия труда по шумовому фактору представлены в таблице 6.2 в соответствии приложением №11 к (Методика проведения специальной оценки условий труда, утвержденной приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 января 2014 г.).

Таблица 6.2 – Условия труда по шумовому фактору

Наименование показателя, единица измерения	Класс (подкласс) условий труда					
	допустимый	вредный				опасный
Шум, эквивалентный уровень звука, дБА	80 и меньше	>80-85	>85-95	>95-105	>105-115	более 115

### 6.2.2 Повышенный уровень общей вибрации

Воздействие вибрации может привести к изменениям в нервной, сердечно-сосудистой, опорно-двигательной системах. Хроническое воздействие вибрации на человека может привести к вибрационной болезни. Заболевание может привести к нарушениям в сердечно-сосудистой и нервной системе, а также в опорно-двигательном аппарате.

На компрессорной станции вибрация создается при работе компрессоров, трубопроводов технологической обвязки и аппаратов воздушного охлаждения газа и масла.

В целях предотвращения вибрационной болезни в ГОСТ 12.1.012-90 [5] предусмотрены нормы, регулирующие время непрерывного воздействия вибрации на работника (таблица 6.3).

Таблица 6.3 — Допустимое суммарное время непрерывного воздействия вибрации  $T_n$  на работающего за смену

$T_n$ , мин	Показатель превышения вибрационной нагрузки на оператора, $\Delta$ , дБ
1	381
2	302
3	240
4	191
5	151
6	120
7	95
8	76
9	60
10	48
11	38
12	30

Для защиты работника от пагубного воздействия вибрации предусмотрены антивибрационные рукавицы, а также сапоги с толстой резиновой подошвой. ГПА оборудованы специальными датчиками, контролирующими их уровень вибрации.

### 6.2.3. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождение работника

Микроклимат оказывает огромное влияние на здоровье работника, его самочувствие и работоспособность, которое возможно лишь при условии сохранения температурного баланса организма, достигаемого за счет работы системы терморегуляции. В условиях неблагоприятного микроклимата нарушение в функционировании этих систем может сопровождаться ухудшением здоровья и самочувствия, и усугубляется воздействием на организм других вредных факторов.

Микроклимат определяется с помощью следующих параметров: температуры, влажности, скорости движения воздуха [8]. На компрессорной станции показатели микроклимата могут отклоняться от нормы из-за повышенной или пониженной температуры компримирующего оборудования и повышенной или пониженной влажности воздуха рабочей зоны. В таблице 6.4 представлены оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости воздуха в рабочей зоне производственных помещений.

Таблица 6.4 – Нормы микроклимата

Период года	Категория работ	Температура °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха
холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,2
теплый		20 – 22		0,3

Для улучшения показателей микроклимата на компрессорной станции работники обеспечены спецодеждой, имеющей высокую воздухопроницаемость, и спецобувью. Особо нагревающиеся в процессе эксплуатации газотурбинные установки и рамы вспомогательных устройств находятся в шумотеплоизолирующем кожухе.

#### **6.2.4 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения**

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов. Для обеспечения комфортного освещения разработаны и выполнены следующие мероприятия: рабочие места объекты подходы к ним, проходы в темное время суток освещены, искусственное освещение выполняется в соответствии с требованиями правил устройства электроустановок и строительных норм и правил, уровень

освещенности рабочих мест соответствует отраслевым нормам проектирования искусственного освещения объектов. В производственных помещениях предусмотрено аварийное и эвакуационное освещение. Освещенность помещения обеспечивает оптимальное зрительное восприятие объекта различения. Освещение обеспечивает равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и окружающего пространства. Освещенность поверхности постоянна, без пульсаций. Освещение должно обеспечиваться коэффициентом естественного освещения не ниже 1,0 %. Естественное и искусственное освещение в 94 помещениях регламентируется нормами СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 в зависимости от характера зрительной работы. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно давать блики, яркость светящихся поверхностей не должна быть более 200 кд/м<sup>2</sup>. Для поддержания нормируемых значений освещенности необходимо своевременно проводить чистку стекол и светильников, замену перегоревших ламп.

### **6.2.5 Сосуды и аппараты под высоким давлением**

Особенность эксплуатации компрессорных станций – высокое давление перекачиваемой среды (природного газа). Рабочее давление газа составляет 9,8 МПа, а оборудование компрессорной станции способно выдержать давление до 12 МПа. Для измерения давления на компрессорной станции установлены манометры, снабженные трёхходовым краном.

Для защиты сосудов следует применять клапаны и их вспомогательные устройства, соответствующие требованиям ГОСТ 12.2.063 [9]. Защите предохранительными клапанами подлежат сосуды, в которых возможно превышение рабочего давления от питающего источника [7]. В случае с компрессорной станцией таким оборудованием являются ГПА. На ГПА-32 «Ладога» установлена комплексная система автоматического управления,

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

обеспечивающая автоматическую работу агрегата и компрессорного цеха и предупреждающая машиниста о превышении давления на оборудовании.

### **6.2.6 Производственные факторы, связанные с электрическим током**

В рабочей зоне к источникам электрической энергии относятся розетки, а также подключенные к ним электрические приборы номинальным напряжением 220 В, соответственным заземлением с сопротивлением 4 Ом.

Рабочее помещение относится к помещениям повышенной опасности поражения электрическим током, присутствует один из следующих факторов: повышенная влажность (60 %); вентиляция и отопление, покрытие пола не из диэлектрического материала, температура воздуха до 30 °С, выделение технологической пыли, в воздухе находятся химически активные вещества.

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

Принимаются следующие меры защиты от воздействия электрического тока:

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

### **6.2.7 Пожаровзрывоопасность**

К опасным факторам пожара, воздействующим на персонал компрессорной станции, относятся: пламя и искры, тепловой поток,

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

повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму [9].

В соответствии с (Федеральный закон N 123-ФЗ от 22.07.2008 (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности") компрессорный цех ГПА относится к категории А помещений по пожарной и взрывопожарной опасности.

Причиной пожара может стать утечка газа, масла, дизельного топлива. Утечка может произойти при нарушении герметичности запорной или предохранительной арматуры. Помимо этого, при содержании метана в пределах от 4 до 16% образуется взрывоопасная концентрация.

Для предотвращения и борьбы с самовоспламенением и горением природного газа на компрессорной станции используются система контроля загазованности и система пенного пожаротушения, состоящая из резервуара с водой, насосной станции, сети пенных трубопроводов. Обязательно наличие огнетушителей на территории компрессорной станции. В соответствии с (ППБ 01-03 «Правила пожарной безопасности в российской федерации»), в зависимости от размеров КЦ и КС, в таблице 6.5 приведены нормы оснащения помещений ручными огнетушителями для категории А помещения.

В соответствии с (Инструкция о мерах пожарной безопасности при работе на компрессорных установках) для персонала обозначены требования. Работники и должностные лица организации обязаны:

- 1) Соблюдать требования пожарной безопасности, установленные Правилами противопожарного режима в Российской Федерации и настоящей инструкцией.
- 2) Бережно относиться к противопожарным средствам и оборудованию.
- 3) Незамедлительно сообщить работодателю либо непосредственному руководителю о нарушениях требований пожарной безопасности.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		82

- 4) Работники допускаются к работе на объекте только после прохождения обучения мерам пожарной безопасности. Обучение работников мерам пожарной безопасности осуществляется путем проведения противопожарного инструктажа и прохождения пожарно-технического минимума.
- 5) Противопожарный инструктаж проводится со всеми работниками организации.
- 6) Обслуживание компрессорных установок возлагается на лиц, прошедших специальную подготовку и имеющих удостоверение.

Таблица 6.5 – Нормы оснащения помещений ручными огнетушителями

Категория помещения	Пределная защищаемая площадь, м <sup>2</sup>	Класс пожара	Пенные и водные огнетушители вместимостью 10 л	Порошковые огнетушители вместимостью, л/ массой огнетушащего вещества, кг			Хладонные огнетушители вместимостью 2 (3) л	Углекислотные огнетушители вместимостью, л/ массой огнетушащего вещества, кг	
				2/2	5/4	10/9		2/2	5(8)/3(5)
А	200	А	2++	-	2+	1++	-	-	-
		В	4+	-	2+	1++	4+	-	-
		С	-	-	2+	1++	4+	-	-
		Д	-	-	2+	1++	-	-	-
		Е	-	-	2+	1++	-	-	2++

### 6.2.8 Вещества, обладающие острой токсичностью по воздействию на организм

Перекачиваемый газ, примерно на 90% состоит из метана, в таблице 6.6 приведены его токсичные и пожароопасные свойства.

Таблица 6.6 – Токсичные и пожароопасные свойства метана

Основные параметры газа	Значение
Температура воспламенения, °С	537
ПДК, мг/м <sup>3</sup>	300
Пределы воспламенения смеси с воздухом, %	4-16
Санитарная норма, %	0,8
Токсическое действие	Центральная нервная система

Основные свойства газа:

- при содержании метана в воздухе в пределах от 4 до 16% образуется взрывоопасная концентрация;
- природный газ, скопляющийся в закрытом помещении, вытесняет воздух и удушающее действует на человека;
- предельно допустимое содержание газа в помещениях не должно превышать 1%.

В качестве мероприятий по сокращению или недопущению воздействия природного газа на организм человека газотранспортные в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 предприятия обязаны обеспечивать каждого работника переносными газоанализаторами для выявления утечек и сохранения здоровья работника. В компании ООО «Газпром трансгаз Томск» в КЦ ГПА установлены стационарные газоанализаторы. При проведении газоопасных работ, у начальника обязательно должны быть экипированы противогазы.

### 6.3 Экологическая безопасность

#### 6.3.1 Защита атмосферы

Основным источником загрязняющих атмосферу веществ при работе компрессорной станции являются ГПА. Поступление загрязняющих веществ в атмосферу происходит при пуске, в период эксплуатации и при останове ГПА.

При пуске ГПА имеет место кратковременный залповый выброс природного газа в атмосферу из свечи турбодетандера (пусковой газ, используемый на работу турбодетандера и продувку контура нагнетателя). Основными организованными источниками выбросов при работе ГПА являются выхлопные трубы, через которые в атмосферу поступают продукты сгорания природного газа, сжигаемого в камере сгорания ГТУ. К ним относятся оксид азота, диоксид азота, оксид углерода, метан и прочее [10].

Оксид азота (NO) – бесцветный газ, при обычной температуре соединяется с кислородом с образованием диоксида азота (NO<sub>2</sub>), очень ядовит. Диоксид азота (NO<sub>2</sub>) – бурый ядовитый газ тяжелее воздуха, легко сжижается. При комнатной температуре находится в смеси с бесцветным N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

Оксид и диоксид азота имеют 3 класс опасности, ПДК диоксида азота составляет 2 мг/м<sup>3</sup>, ПДК оксида азота – 5 мг/м<sup>3</sup> [11]. При длительном воздействии оксидов азота в концентрациях, превышающих норму, люди заболевают хроническим бронхитом, страдают сердечной слабостью, а также нервными расстройствами.

Монооксид углерода (угарный газ) (CO)) – бесцветный, чрезвычайно токсичный газ без вкуса и запаха, легче воздуха. Относится к 4 классу опасности, ПДК составляет 20 мг/м<sup>3</sup> [11]. Угарный газ вызывает отравление и даже смерть.

Метан – бесцветный газ без вкуса и запаха. Малорастворимый в воде, при высокой концентрации в воздухе обладает слабым наркотическим действием. При воздействии малых концентраций влияет на центральную нервную систему. ПДК составляет 7000 мг/м<sup>3</sup>, класс опасности 4 [11].

Оборудование компрессорной станции имеет улучшенные экологические показатели, низкий уровень выбросов. Для предотвращения утечек газа компрессоры оснащены сухими газодинамическими уплотнениями. Для снижения концентрации вредных веществ выхлопных

газов необходимо дополнительное очищение топливного газа от механических примесей.

### 6.3.2 Защита гидросферы

Основными загрязнителями сточных вод на КС являются:

- соли;
- нефтепродукты;
- метанол;
- диэтиленгликоль (ДЭГ);
- тяжелые металлы;
- хозяйственно-бытовые отходы.

Высокое содержание в сточной воде нефтепродуктов связано с наличием на компрессорной станции большого парка автотранспорта. Нефть и нефтепродукты оказывают вредное воздействие на многие живые организмы и пагубно влияют на все звенья биологической цепи.

Метанол (или метиловый спирт  $\text{CH}_3\text{OH}$ ) – это бесцветная легкоподвижная жидкость, широко используемая в газовой промышленности как реагент для борьбы с гидратообразованием. Является наиболее токсичным соединением среди всех спиртов, относится к веществам 3 класса опасности. Токсическое действие метанола связано с угнетением центральной нервной системы и слепотой.

Диэтиленгликоль (ДЭГ, двуэтиловый спирт) является белой вязкой жидкостью, используется для осушки природного газа перед его транспортировкой по газопроводу. Диэтиленгликоль не представляет серьезной опасности в случае кратковременного вдыхания паров при комнатной температуре или контакта с кожей, однако длительное вдыхание вызывает раздражение слизистых оболочек и наркотический эффект. Относится к веществам 3 класса опасности.

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

Тяжелые металлы, попадающие в водоемы (ртуть, свинец, цинк, медь, кадмий), оказывают токсическое действие на живые организмы. Ионы тяжелых металлов оседают на стенках сосудов организма, засоряют почечные каналы и каналы печени, что способствует отравлению организма [10].

Для предотвращения загрязнения водных объектов нефтепродуктами рекомендуются установки герметичного слива и налива, стационарные шланговые устройства, системы автоматизации слива и налива.

Режим слива и налива нефтепродуктов, конструкция и условия эксплуатации средств хранения и транспортирования должны удовлетворять требованиям электростатической искробезопасности (ГОСТ 12.1.018-93) [12].

### 6.3.3 Защита литосферы

Воздействие КС на литосферу можно свести к следующим основным направлениям:

- загрязнению почвы нефтепродуктами (различными видами топлива, смазочными материалами, продуктами очистки газа и т.д.);
- накоплению в почве тяжелых металлов (свинца, ртути, цинка и др.);
- загрязнению промышленными и бытовыми отходами газотранспортного предприятия;
- воздействию кислотных осадков, образующихся в атмосфере.

Загрязнение почвы углеводородными смесями может быть связано с осуществлением очистки и осушки газа, очисткой полости газопровода в ходе проведения ремонта, удалением продуктов очистки газа из пылеуловителей и фильтров-сепараторов. Источниками поступления тяжелых металлов в окружающую среду могут служить котельные, участки сварки и резки металла, аккумуляторные отделения, автотранспортные средства, места складирования и хранения отходов [10].

Мероприятия по охране почв можно разделить на следующие основные направления:

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

- снижение количества изымаемых из оборота земель;
- предупреждение загрязнения почв токсичными веществами и отходами производства;
- очистка загрязненных земель;
- рекультивация почв [10].

#### **6.4 Меры безопасности в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций на компрессорных станциях можно выделить следующие:

- воспламенение масла в компрессорном цехе при разрывах маслопроводов;
- разрушение обвязочных газопроводов компрессорного цеха;
- попадание посторонних предметов в полость нагнетателя;
- поступление воспламеняющихся веществ через неплотности в запорно-регулирующей арматуре.

Наиболее типичной аварией на компрессорной станции является разгерметизация обвязочных газопроводов компрессорного цеха. Большинство аварий, связанных с разгерметизацией трубопроводов на КС, происходит в результате повышенной вибрации.

Для описания мероприятий, направленных на ликвидацию данной ЧС, составляется план оперативного реагирования. Он должен содержать:

- распределение ответственностей по управлению различными видами рисков А и ЧС в процессе реализации проекта КС;

- мероприятия по адаптации при необходимости первоначальных оценок рисков чрезвычайных ситуаций и, соответственно, управленческих, организационных и технологических решений;
- мероприятия по реализации оперативного плана действий в чрезвычайных ситуациях;
- мероприятия по использованию резервов для предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Для предупреждения и недопущения этой чрезвычайной ситуации на ГПА проводится постоянный виброконтроль с оценкой уровней вибрации трубопроводов. Уровень А характеризует технически исправную трубопроводную систему КС. Уровень В является максимально допустимым уровнем при нормально-режимной эксплуатации КС. При превышении уровня С необходимо проведение диагностических работ с разработкой рекомендаций по реконструкции трубопроводной системы. Достижение уровня D характеризует аварийное состояние трубопроводов и их опорных систем. Превышение этого уровня влечет за собой разрушения в элементах трубопроводной системы [13].

#### **Вывод по разделу «Социальная ответственность»**

В данном разделе были рассмотрены вопросы правового регулирования в сфере производственной и экологической безопасности, выявлены вредные и опасные производственные факторы, с которыми могут столкнуться работники компрессорной станции, и представлены пути защиты работников от данных факторов. Были затронуты вопросы экологической безопасности предприятия и мер безопасности при ЧС. Производственная и экологическая безопасность являются одними из приоритетных направлений деятельности ПАО «Газпром». В компании приняты и функционируют Единая система управления производственной безопасностью и Экологическая

политика. Это говорит о социальной ответственности ПАО «Газпром» перед работниками компании и окружающей средой.

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

## Заключение

В работе описаны устройство компрессорного цеха и, в частности, устройство и принцип работы газотурбинного газоперекачивающего агрегата, а также назначение его основных блоков и систем. Представлено описание мероприятий технического обслуживания агрегата, их классификация по периодичности проведения.

В соответствии с целью ВКР была проведена разработка организационно-технических мероприятий по совершенствованию процесса технического обслуживания газотурбинного двигателя агрегата. Приведён новый порядок и алгоритм автоматического управления «Промывка ГТД» для мероприятия промывки газовоздушного тракта газотурбинной установки в составе ТО ГТУ, которые могут повысить эффективность использования природного газа с точки зрения сокращения его выбросов в атмосферу. В качестве обоснования представлен расчёт, подтверждающий сделанный вывод о повышении эффективности работы оборудования компрессорного цеха. Результат расчёта доказывает, что корректировка алгоритма позволит сэкономить 92,5 тыс. м<sup>3</sup> природного газа в год (в денежном эквиваленте экономия составит 420 тыс. рублей), затрачиваемого на продувку в действующем алгоритме.

В качестве технологического расчёта был выполнен анализ газодинамических характеристик нагнетателя и параметров работы ГПА на соответствие функционирования нагнетателя требованиям газодинамической устойчивости. В результате на основании выполнения условий (4.6) (условие потребления мощности, условие политропных КПД, сравнение фактической степени сжатия с номинальной) сделали вывод о подходящих эксплуатационных характеристиках оборудования, а также о его безопасной и

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Организационно-технические мероприятия по повышению эффективности работы оборудования компрессорного цеха с газотурбинными центробежными нагнетателями		
Разраб.		Белоусов Л.А.			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Шадрина А.В.				91	104
Рук-ль ООП		Чухарева Н.В.			Отделение нефтегазового дела Группа 2Б91		
					Заключение		

эффективной работе при заданном режиме работы МГ.

В заключительной части выпускной квалификационной работы рассмотрели вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности, ресурсосбережения и социальной ответственности в рамках данной работы. Из раздела «Финансовый менеджмент» следует обоснование конкурентоспособности предлагаемого технического решения и выбор наиболее выгодного варианта разработки. Рассмотрели неизбежно возникающие в процессе работы в компрессорном цехе вредные и опасные производственные факторы, на основании нормативных документов рекомендовали мероприятия по снижению негативного влияния данных факторов.

					<b>Заключение</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		92



8. СТО Газпром 2-3.5-454-2010. Правила эксплуатации магистральных газопроводов: дата введения 2010-08-11 / разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ», дочерним открытым акционерным обществом «Оргэнергогаз», обществом с ограниченной ответственностью «ВолгоУралНИПИгаз». – Текст : непосредственный.

9. 01.00.0000.000-07 РЭ. Агрегат газоперекачивающий ГПА-16У-П/100-1,5-07 : руководство по эксплуатации : введено в действие 01.02.2019. – 200 с. – Текст : непосредственный.

10. Оказание услуг по проведению экспертизы промышленной безопасности подъемных сооружений (выдача положительного Заключения). – Текст : электронный // energybase : официальный сайт. – 2023. – URL: <https://energybase.ru/tender/etp-gpb-gp341475> (дата обращения: 28.05.2023).

11. СТО Газпром 2-3.5-138-2007. Типовые технические требования к газотурбинным ГПА и их системам: дата введения 2008-01-21 / разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - ВНИИГАЗ». – Текст : непосредственный.

12. ИЯТЛ.064415.218 РЭ. Компрессор центробежный ЦБК 405-1,50/101-5300/16С : руководство по эксплуатации. – 78 с. – Текст : непосредственный.

13. 83-00-496. Газотурбинная установка ГТУ-16П : руководство по эксплуатации. – 100 с. – Текст : непосредственный.

14. АСА1.370.739 ПБ. Система автоматического управления газоперекачивающим агрегатом Неман-Р-20-01-0739 : Алгоритмы управления. – 124 с. – Текст : непосредственный.

15. ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЙ АГРЕГАТ. – Текст : электронный // Газпром трансгаз Ставрополь : официальный сайт. – 2023. – URL: <https://stavropol->

					Список источников	Лист
						94
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

[tr.gazprom.ru/press/proekt-azbuka-proizvodstva/gazoperekachivayushchij-agregat/](http://tr.gazprom.ru/press/proekt-azbuka-proizvodstva/gazoperekachivayushchij-agregat/)

(дата обращения: 05.05.2023).

16. Рудаченко, А.В. Газотурбинные установки для транспорта природного газа: учебное пособие второе издание переработанное: учебное пособие / А.В. Рудаченко, Н.В. Чухарева; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 217с.

17. Политика ПАО «Газпром» в области энергоэффективности и энергосбережения : официальное издание : утверждена постановлением Правления ПАО «Газпром» от 11 октября 2018 г. №39. – 3 с. – URL: <https://www.gazprom.ru/f/posts/60/091228/2018-11-20-energetic-policy.pdf> (дата обращения: 10.05.2023). – Текст : электронный.

18. Промывка газоздушного тракта газотурбинных двигателей. – Текст : электронный // Эверест Турбосервис : официальный сайт. – 2011. – URL: <http://everest-ts.ru/services/promyvka/> (дата обращения: 13.05.2023).

19. Жердев, Ю. Ю. Снижение выбросов в атмосферу и эффективное использование природного газа путём корректировки алгоритма «Промывка ГТД» на газоперекачивающем агрегате ГПА-16У // XI Научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов ООО «Газпром трансгаз Томск». – 2023. – 3 с. – Текст : непосредственный.

20. РД 153-39.0-111-2001. Методика определения нормативной потребности и норм расхода природного газа на собственные технологические нужды газодобывающих предприятий: дата введения 2002-01-01 / разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Научно- исследовательский институт природных газов и газовых технологий - ВНИИГАЗ». – Текст : непосредственный.

21. Каталог газодинамических характеристик ЦБК природного газа: дата введения 2005-01-01 / разработан Обществом с ограниченной

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

ответственностью «Научно- исследовательский институт природных газов и газовых технологий - ВНИИГАЗ». – Текст : непосредственный.

22. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 11.04.2023). — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_law\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_34683/) (дата обращения 24.05.2023). – Текст : электронный.

23. Типовое положение об оплате труда работников организаций ПАО «Газпром». – Текст : непосредственный.

24. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы: дата введения 2017-03-01 / разработан обществом с ограниченной ответственностью "Экожилсервис", ФГБОУ ВПО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет". – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 25.05.2023). – Текст : электронный.

25. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности: дата введения 2015-11-01 / разработан открытым акционерным обществом "Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем" (АО "НИЦ КД"). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения: 25.05.2023). – Текст : электронный.

26. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.: дата введения 1991-07-01 / разработан Всесоюзным Центральным Советом Профессиональных Союзов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200329> (дата обращения: 25.05.2023). – Текст : электронный.

27. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: дата введения 1996-10-01 / разработан НИИ медицины труда РАМН (Афанасьева Р.Ф., Репин Г.Н., Михайлова Н.С., Бессонова Н.А., Бурмистрова О.В., Лосик Т.К.); Московский НИИ гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана (Устюшин Б.В.); при участии Санкт-Петербургского НИИ гигиены труда и профзаболеваний (Синицина Е.В., Чащин В.П.);

					Список источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96

Госкомсанэпиднадзор России (Лыткин Б.Г., Кучеренко А.И.). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 26.05.2023). – Текст : электронный.

28. ГОСТ 12.2.085-2002 Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности: дата введения 2003-07-01 / разработан ОАО "НИИХИММАШ" Российской Федерации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030652> (дата обращения: 26.05.2023). – Текст : электронный.

29. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов: дата введения 1991-01-01 / разработан Министерством внутренних дел СССР. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004802> (дата обращения: 26.05.2023). – Текст : электронный.

30. ГОСТ 12.2.063-2015. Арматура трубопроводная. Общие требования безопасности: дата введения 2016-04-01 / разработан Закрытым акционерным обществом "Научно-производственная фирма "Центральное конструкторское бюро арматуростроения". – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200122430> (дата обращения: 27.05.2023). – Текст : электронный.

31. Островская А.В. Экологическая безопасность газокompрессорных станций / А.В. Островская ; Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2017. – ч.2. – 149 с.

32. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны : постановление : введено в действие 13.02.2018. – Москва : Минюст России, 2017. – 170 с. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293737/4293737770.pdf> (дата обращения: 27.05.2023). – Текст : электронный.

33. ГОСТ 12.1.018-93 ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования: дата введения 1995-05-01 / разработан Госстандартом России. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200318> (дата обращения: 28.05.2023). – Текст : электронный.

					Список источников	Лист
						97
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

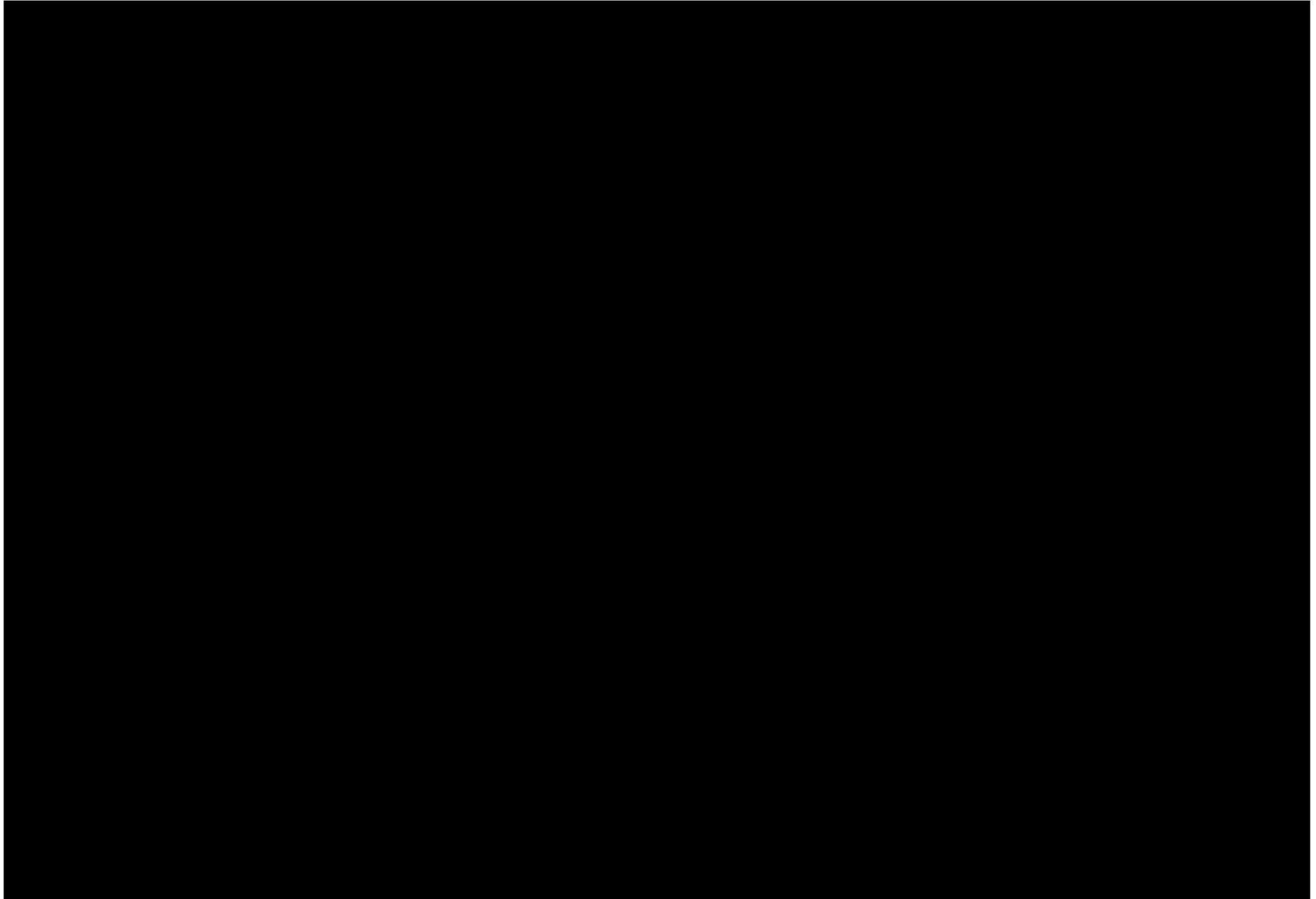
34. Нормы вибрации трубопроводов технологического газа компрессорных станций с центробежными нагнетателями: дата введения 1985-07-01 / разработан Московским институтом нефтехимической и газовой промышленности им. И.М.Губкина, Производственным объединением "Союзоргэнергогаз", проректором по научной работе МИНГП им. Губкина А.Н.Дмитриевским, главным инженером ПО "Союзоргэнергогаз" А.Д.Тихоновым. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003197> (дата обращения: 28.05.2023). – Текст : электронный.

35. СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение: дата введения 1996-01-01 / разработан Научно-исследовательским институтом строительной физики, Обществом с ограниченной ответственностью "Всероссийским научно-исследовательским, проектно-конструкторским светотехническим институтом", Акционерным обществом "Центральным научно-исследовательским и проектно-экспериментальным институтом инженерного оборудования", Академией коммунального хозяйства им. К.Д.Памфилова, Всероссийским научно-исследовательским и проектным институтом Тяжпромэлектропроект, Научно-исследовательским институтом экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н.Сысина, Научным центром социально-производственных проблем охраны труда, Ивановским институтом охраны труда, Товариществом с ограниченной ответственностью "Церера". – URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001026> (дата обращения: 29.05.2023). – Текст : электронный.

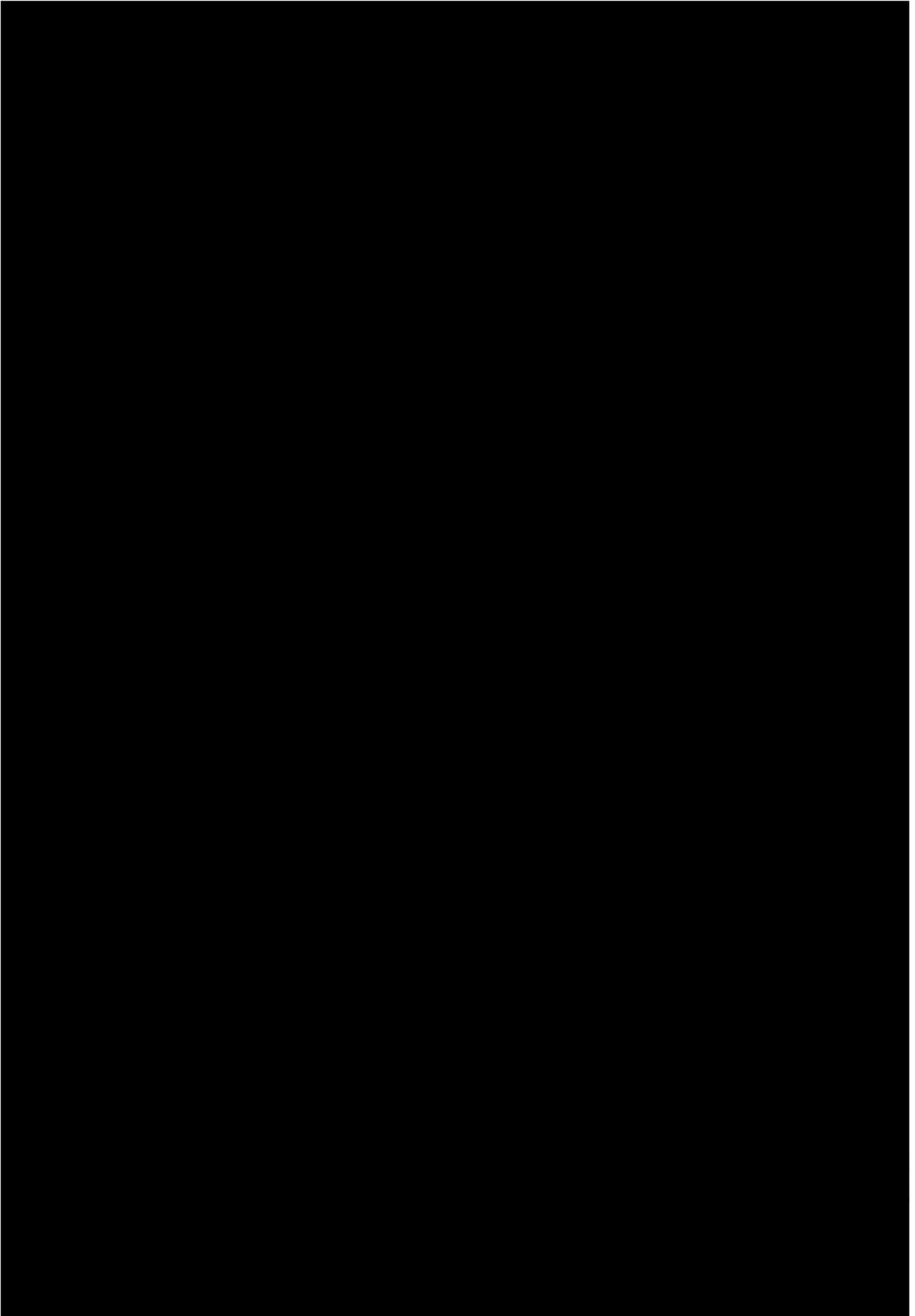
36. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности: дата введения 1977-01-01 / разработан Министерством химической промышленности. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200233> (дата обращения: 30.05.2023). – Текст : электронный.

					Список источников	Лист
						98
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

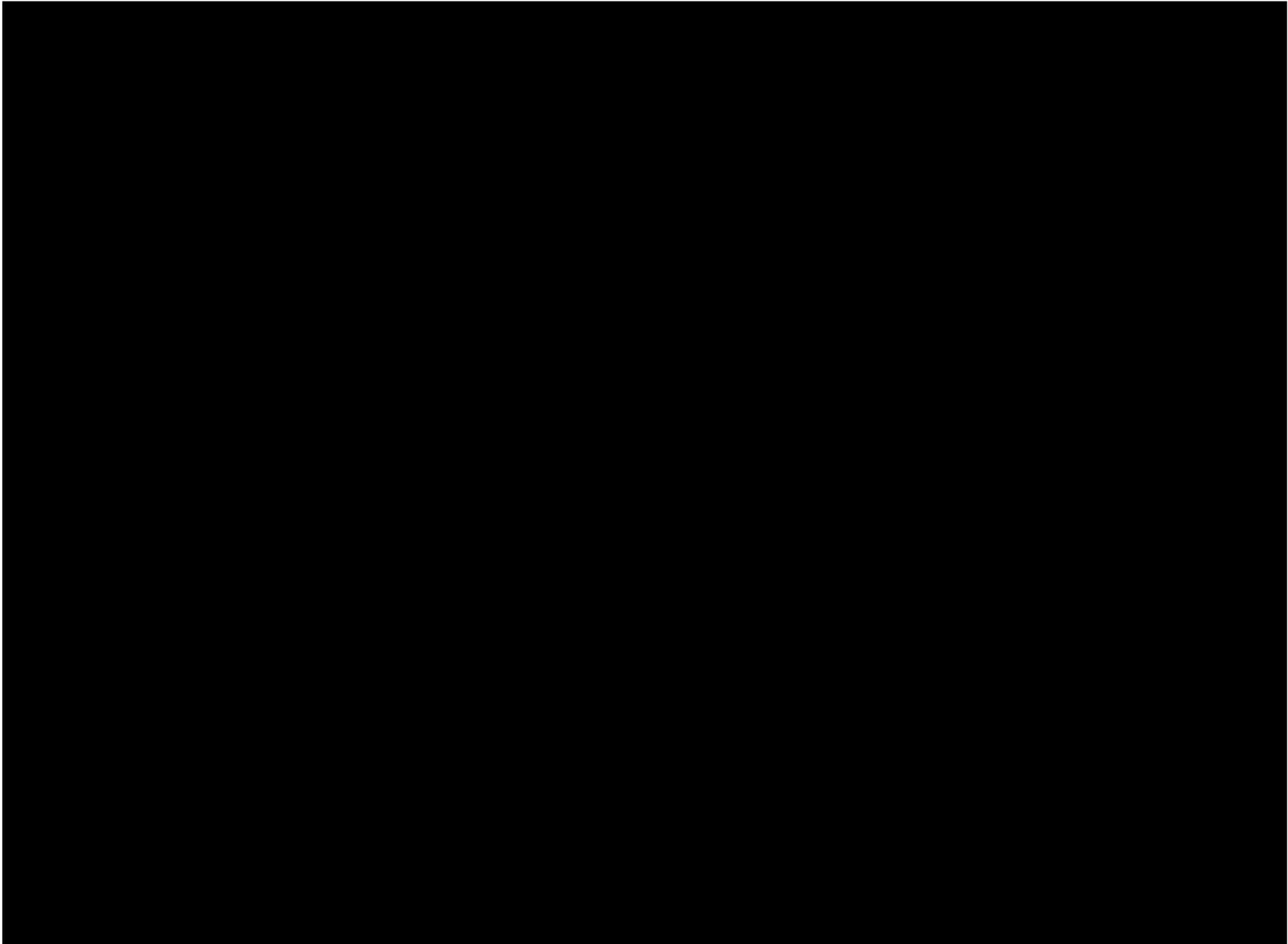
**ПРИЛОЖЕНИЕ А. Генеральный план КС-4 Иван Москвитин  
(справочное)**



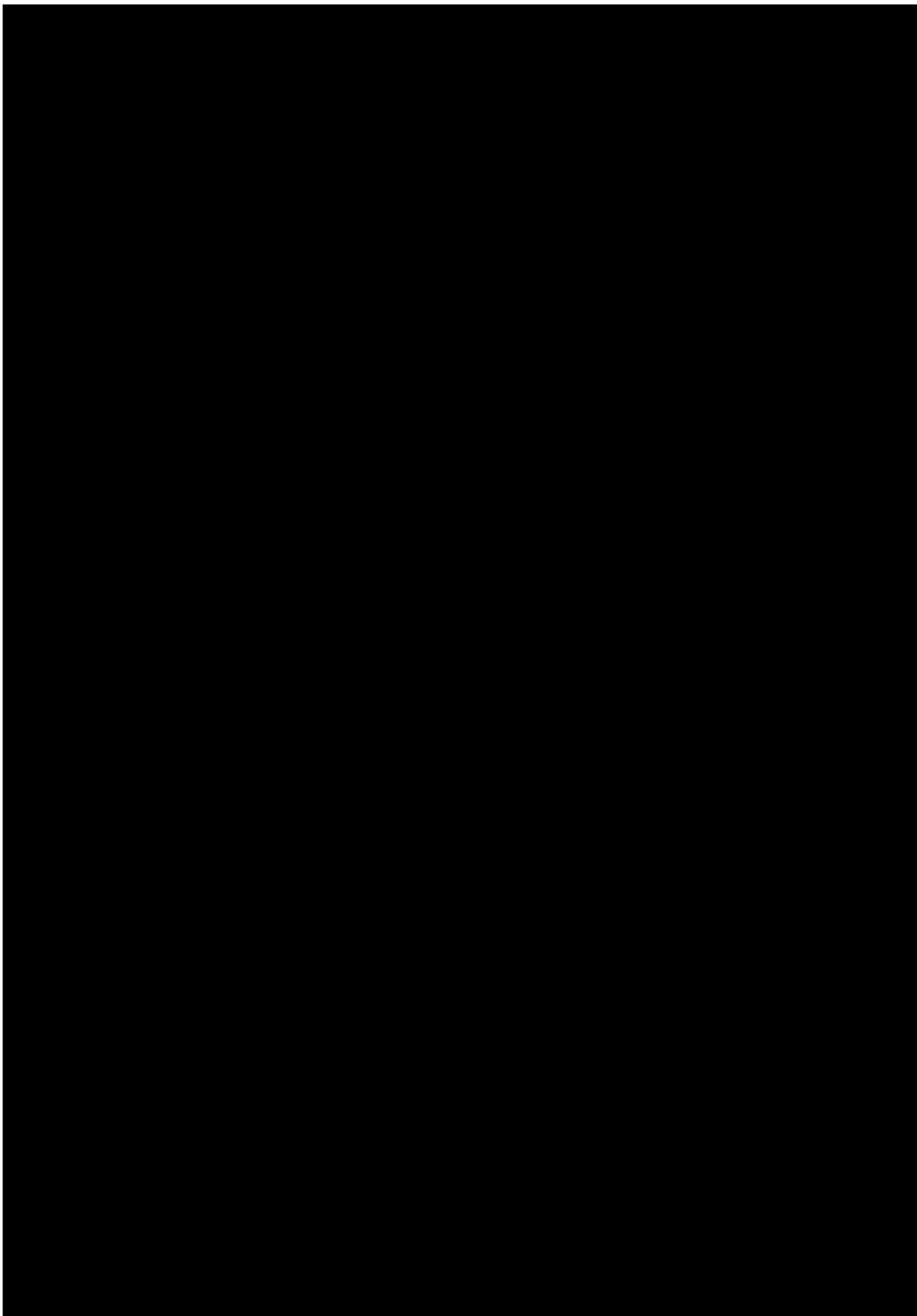
**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Выхлопная система ГТД**  
**(обязательное)**



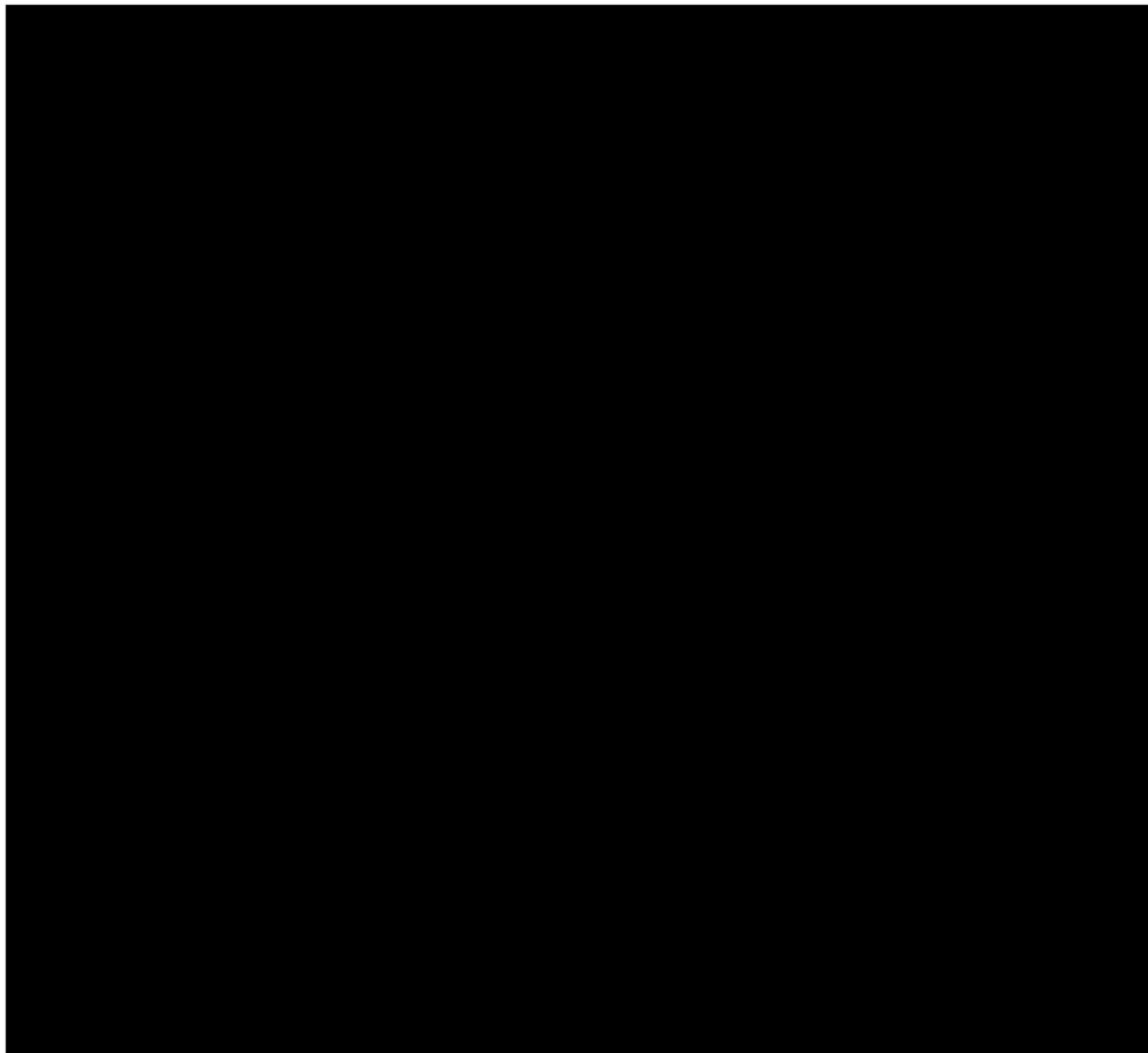
**ПРИЛОЖЕНИЕ В. Технологическая схема ГПА-16У**  
**(обязательное)**



**ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Алгоритм «Промывка ГТД»  
(обязательное)**



**ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Использование газа при продувке ЦБК  
(обязательное)**



**ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Параметры работы ГПА КС Иван Москвитин  
(обязательное)**

