

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

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

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА</b>

УДК 621.515(211-17)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Кротов Евгений Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Саруев Лев Алексеевич	д.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Валитова Елена Юрьевна			

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шарф Ирина Валерьевна	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Александр Иванович	д.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаяев Кайрат Камитович	к.ф-м.н		

Томск – 2022 г.  
РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

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

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
	проектов, различных процессов производственной деятельности на основе методики проектирования в нефтегазовой отрасли, а также инструктивно-нормативных документов.
ПК(У)-6	Способность к разработке учебно-методических материалов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования
ПК(У)-7	Способность реализовывать программы профессионального обучения: планировать и проводить учебные занятия, оценивать достижение планируемых результатов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования

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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

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

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ05	Кротову Евгению Владимировичу

Тема работы:

Исследование и обоснование эффективного способа регулирования производительности центробежных компрессоров в условиях крайнего севера
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№39-38/с от 08.02.2022
---------------------------------------------	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.06.22
------------------------------------------	----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Тексты и графические материалы отчетов и исследовательских работ, фондовая и научная литература, технологические регламенты, нормативные документы.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений науки и техники в рассматриваемой области.</li> <li>2. Исследование и обоснование технических решений по увеличению межремонтного периода антипомпажных клапанов.</li> <li>3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>4. Социальная ответственность.</li> <li>5. Выводы по работе.</li> <li>6. Раздел на иностранном языке.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Профессор, д.э.н., Шарф Ирина Валерьевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Доцент, к.т.н., Сечин Андрей Александрович</p>
<p>Английская часть</p>	<p>Профессор, д.ф.н., Матвеевко Ирина Алексеевна</p>

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>
<p>Причины и анализ явления помпажа в технологических процессах при нефтегазодобыче</p>
<p>Анализ применения антипомпажного регулирования в условиях Крайнего Севера.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>
<p>Социальная ответственность</p>

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

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Профессор</p>	<p>Саруев Лев Алексеевич</p>	<p>д.т.н.</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>2БМ05</p>	<p>Кротов Евгений Владимирович</p>		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа содержит 97 страниц, 14 рисунков, 17 таблиц, 36 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: компрессорная станция, антипомпажный клапан, удаление влаги, устройство удаления влаги.

Объект исследования: осевой компрессор, центробежный нагнетатель, цилиндропоршневые антипомпажная защита.

Цель работы: поиск, исследование и обоснование технических решений по увеличению безотказности работы пневматического антипомпажного клапана.

В процессе исследования проводились: обзор литературы, анализ проблемы на предприятии.

В результате исследования была выявлена проблема в замерзании влаги в рабочих органах пневматической арматуры. Предложены решения и даны им обоснования о применимости.

Область применения: утилизация попутного и низконапорного газа, добыча нефти и газа, транспортировка газа и газоконденсата.

Экономическая эффективность заключается в увеличении долговечности и работоспособности антипомпажных клапанов.

## **Нормативные ссылки**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования.

ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Общие требования.

ГОСТ 12.0.004-90. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

СанПиН 2.2.2776-10. Гигиенические требования к оценке условий труда при расследовании случаев профессиональных заболеваний.

СанПиН 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

СанПиН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Нормы и методы расчета на прочность

ГОСТ 24755-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий

## **Определения**

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Нагнетатель – компрессор, предназначенный для сжатия газа (воздуха).

Внутренние воздействия: случайные или закономерные изменения отдельных параметров системы, влекущие за собой изменение других параметров этой же системы.

Внешние воздействия: воздействия, не относящиеся к комплексу процессов и параметров, характеризующих состояние системы, и приводящие к выводу ее из состояния равновесия.

## **Список сокращений**

КПД – коэффициент полезного действия;

ДКС – дожимная компрессорная станция;

ГКС – газоконпрессорная станция;

АВО – аппарат воздушного охлаждения;

БТЕ – британская тепловая единица;

РК – рабочее колесо;

ЦК – центробежный компрессора;

ГПА – газоперекачивающий агрегат.

## Оглавление:

Введение.....	10
1. Причины и анализ явления помпажа в технологических процессах при нефтегазодобыче .....	13
1.1. Анализ нагрузок на конструкцию центробежного компрессора.....	13
1.2 Влияние помпажа на работу компрессора.....	16
1.3 Сущность антипомпажного регулирования.....	18
2. Анализ применения антипомпажного регулирования в условиях Крайнего Севера.....	21
2.1 Проблематика добычи нефти и газа в условиях Крайнего Севера.....	21
2.2. Прогнозирование режимов работы дожимных компрессорных станций.....	23
2.2.1 Математическая модель расчетов показателей работы дожимной компрессорной станции.....	23
2.3. Способы управления работой нагнетателей.....	29
2.3.1. Регулирование антипомпажным клапаном.....	29
2.3.2 Регулирование дросселированием на нагнетании.....	33
2.3.3 Регулирование дросселированием на всасывании.....	34
3. Экспериментальная часть.....	36
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	50
5. Социальная ответственность.....	62
Заключение.....	80
Список литературы.....	81
Приложение А.....	86
Приложение Б.....	88

## **ВВЕДЕНИЕ**

Характерной чертой мировой нефтегазовой промышленности является увеличение потребления природных горючих газов. Это связано с тем, что газ является более экологически чистым и дешевым топливом, по сравнению с нефтепродуктами. Природный газ все чаще используется в транспортных средствах, на газовых электростанциях, в газохимии для производства крупнотоннажных базовых продуктов, таких как этилен и метанол, в металлургической и других отраслях промышленности и жилищногосектора. Согласно статистическому обзору мировой энергетики компанией British Petroleum, потребление природного газа увеличивается в течение последних 50 лет.

Добыча и потребление природного газа растёт более высокими темпами, чем сопоставимые показатели для нефти. В связи с этим, значительной является роль газотранспортных сетей, где одним из основных элементов является газовая компрессорная станция. Технологическая схема компрессорной станции состоит из газоперекачивающего агрегата, газоочистных систем, газоохладительных установок и т.д.

В отличие от нефтепродуктов или угля, использование природного газа в виде первичной энергии сопровождается меньшими выбросами углекислого газа и оксида азота, являющимися основными «парниковыми газами». Во время сгорания природный газ выделяет большое количество тепла, при этом образуется небольшое количество диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) и оксидов азота ( $\text{NO}_3$ , в частности  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ). Горение природного газа сопровождается более низкими уровнями углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), монооксида азота ( $\text{CO}$ ), водяного пара и твердых частиц (также называемые мелкими частицами, представляющие собой крошечные вещества твердого или жидкого вещества, взвешенно в газе). В таблице 1 показаны статистические данные управления энергетической информации США по уровням выбросов топлива в фунтах загрязняющих веществ на миллиард БТЕ (Британская тепловая единица) энергопотребления ископаемого топлива [2].

Как видно из таблицы 1, показатели выбросов загрязнителей при использовании природного газа на порядок меньше чем при использовании других видов топлива.

Таблица 1 – уровни выбросов загрязнителей ископаемым топливом (фунты на миллиард БТЕ энергии)

Загрязнитель	Ископаемое топливо		
	Природный газ	Нефть	Уголь
CO <sub>2</sub>	117000	164000	208000
CO	40	33	208
NO <sub>x</sub>	92	448	457
SO <sub>2</sub>	1	1122	2591
Твердые частицы	7	84	2744
Ртуть	0	0.007	0.016

Большая часть месторождений Российской Федерации находится в районах Крайнего севера или в местностях приравненным к ним. При средней продолжительности зимы в 240 дней, а так же с амплитудой температурных колебаний от -45 зимой и до + 20 летом, к опасным производственным объектам нефтегазового комплекса выдвигаются особые условия для эксплуатации.

Надежная работа компрессорных станций должна обеспечиваться путём предоставления газодинамической устойчивости центробежных компрессоров. Вследствие потери по различным причинам этой газодинамической устойчивости в нагнетателе возникает режим помпажа, который характеризуется сильными колебаниями расхода и давления газа, что часто приводит к аварийным остановкам, иногда с крупными поломками элементов компрессора.

Чтобы не допустить возникновение такого режима и обеспечить надежную работу центробежных нагнетателей газоперекачивающих агрегатов,

необходимо выявить эффективный способ регулирования подачи газа и устранение нежелательных пульсаций при работе систем.

Актуальность данной работы: анализ существующих методов регулирования центробежных компрессоров и поиск оптимального способа антипомпажного регулирования в районах Крайнего Севера.

Объектом исследования является антипомпажный клапан и его рабочие органы.

Предмет исследования: повышение надежности работы антипомпажного клапана путем дооснащения его устройством локального удаления влаги для дополнительного осушения воздуха контрольно-измерительных приборов.

Целью данной магистерской работы является анализ технологических особенностей процесса антипомпажного регулирования.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Провести обзор и анализ действующих нагрузок на центробежный компрессор и выявить природу возникновения помпажа;
2. Определить влияние явления помпажа на работу оборудования и сущность его регулирования;
3. Подобрать регулирующее устройство для достижения антипомпажного регулирования центробежного компрессора;
4. Разработать техническое решение по увеличению надежности работы пневматического антипомпажного клапана.

# 1 АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЯ ПОМПАЖА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРИ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ

## 1.1. Анализ нагрузок на конструкцию центробежного компрессора

При эксплуатации центробежного компрессора наблюдается неустойчивый режим работы. Вследствие этого вся конструкция испытывает различного рода нагрузки: аэродинамические, динамические и тепловые нагрузки. Каждая из этих нагрузок отрицательно влияет на работу компрессора, а при повторяющемся воздействии неминуемо приводит к разрушению элементов компрессора [8].

### *Аэродинамические нагрузки*

Опыт эксплуатации центробежного компрессора (ЦК) при высоких окружных скоростях вращения и давлениях рабочей среды выявил необходимость исследования нестационарных процессов в связи с усталостными поломками рабочих колес (РК), возникающих из-за наличия значительных переменных аэродинамических нагрузок. Среди известных нестационарных явлений в ЦК наиболее значительное отрицательное влияние на усталостную прочность колеса оказывает неравномерность распределения параметров потока по окружной координате около дисков колеса, связанная со сложной структурой потока на выходе из РК. При вращении ротора окружная неравномерность параметров потока, стационарная по отношению к корпусу, преобразуется в нестационарное поле давлений и скоростей по отношению к вращающемуся РК. Важно отметить, что этот вид нестационарности существует на всех режимах работы ЦК, допускаемых при эксплуатации [8].

### *Динамические нагрузки*

Другой вид неустойчивой работы компрессора возникает при механических колебаниях ротора, приводящих к вибрации всей машины. В практике отладки компрессоров допускают некоторую минимальную амплитуду колебаний ротора, определяемую по вибрографу, установленному на крышках подшипников.

Колебания ротора вызываются различными причинами:

- его неуравновешенностью;
- неудовлетворительной центровкой валов;
- износом сцепных муфт;
- помпажем, вызывающим разрушение смазочного слоя в не налаженных или изношенных подшипниках и т.д.

Для распознавания причин повышенной вибрации измеряют амплитуду и, главное, частоту колебаний. При этом у компрессора с очень легкими роторами и относительно массивными подшипниковыми опорами необходимо измерять колебания ротора относительно корпуса. У компрессоров с относительно тяжёлыми роторами можно измерять только колебания подшипниковых опор.

Самые опасные, самовозбуждающиеся колебания (автоколебания) вызываются смазочным слоем подшипников. Частота этих колебаний равна или меньше половины частоты вращения ротора. В гибких валах частота их колебаний иногда близка к собственной частоте колебаний ротора. Подобные автоколебания возникают также и при помпаже. Автоколебания могут самопроизвольно при самых незаметных изменениях режима работы исчезать совсем или появляться и возрасти до совершенно недопустимой величины [8].

#### *Тепловые нагрузки*

При эксплуатации центробежных компрессоров наиболее частыми неисправностями, по причине воздействия тепловых нагрузок являются: повышение температуры масла в подшипниках; повышение температуры сжатого газа на входе или на выходе какой-либо секции рабочих колес.

Температура масла в подшипниках может повыситься из-за ухудшения смазывающих свойств масла вследствие наличия в нем воды или загрязнения, а также из-за неисправности в маслоохладителях или недостаточной подачи его к точкам смазки, т.е. уменьшилось количество смазки, подаваемой в подшипник. Причиной может послужить засорение маслопровода к данному подшипнику. Решением будет прочистка и промывка маслопровода.

При повышении температуры сжатого газа необходимо снизить её путём увеличения скорости продувки воздухом в агрегате воздушного охлаждения. Дополнительным признаком повышения температуры газа на выходе у одной из секций компрессора может являться повышенная температура на входе в эту же секцию. Причина неисправности – засорен газоохладитель перед секцией. Для ее устранения необходимо промыть газоохладитель и очистить охлаждающие поверхности от осадков. Если же температура газа на входе в эту секцию нормальна, то причиной повышения температуры на выходе будет являться нарушение лабиринтовых уплотнений внутри секции. Требуется при очередной ревизии проверить состояние лабиринтовых уплотнений, зазоры в них и герметичность диафрагмы в местах разъема [8].

## 1.2. Влияние помпажа на работу компрессора

В центробежном компрессоре, кроме основных рабочих режимов, наблюдаются также недопустимые режимы работы. Эти режимы характеризуются значительной нестационарностью течения газа в элементах компрессоров, возрастанием усилий на эти элементы и часто приводит к поломкам компрессора.

Помпаж и высокая вибрация являются причиной аварийной остановки газоперекачивающего агрегата в 20-25%. Оценка и последствия помпажа на основе эмпирических аналитических моделей исследовались в различных работах [31-35]. Однако изучение и риски возникновения помпажа требуют изучения для каждого случая отдельно, так как каждый газовый компрессор имеет свои собственные помпажные характеристики.

В работе [36] изложены данные по обследованию 500 компрессорных установок, по результатам представлены основные причины отказов, происходящих при работе центробежных нагнетателей (рисунок 1).

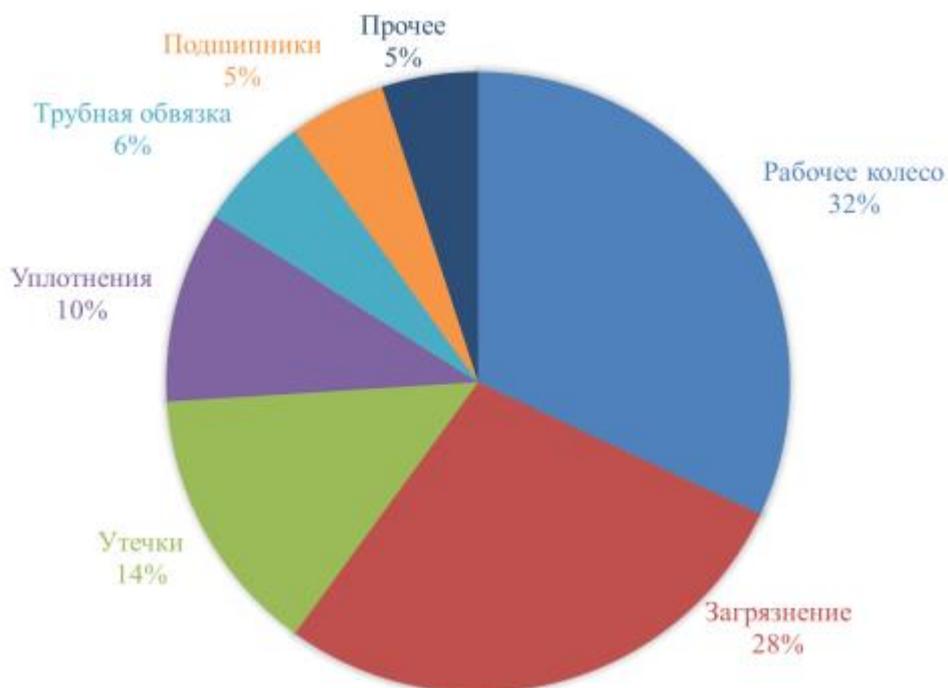


Рисунок 1 – Причины отказов центробежных нагнетателей.

В настоящее время возникновение срыва, вращающегося срыва, как в осевых, так и в центробежных компрессорах связывают появлением угла атаки

на входе в решетку (рисунок 2). Считается, что при достижении критического угла атаки, равного от 20 до 25° для рабочих колес радиального типа от 8 до 11° и для осерадиального типа появляется срыв потока [8].

Угол атаки является одним из важнейших факторов, влияющих на возникновение помпажа. Угол атаки – это угол между направлением скорости набегающего на тело потока и характерным продольным направлением, выбранным на теле. В данном случае характерным направлением является касательная к средней линии в передней точке профиля лопатки рабочего колеса компрессора.

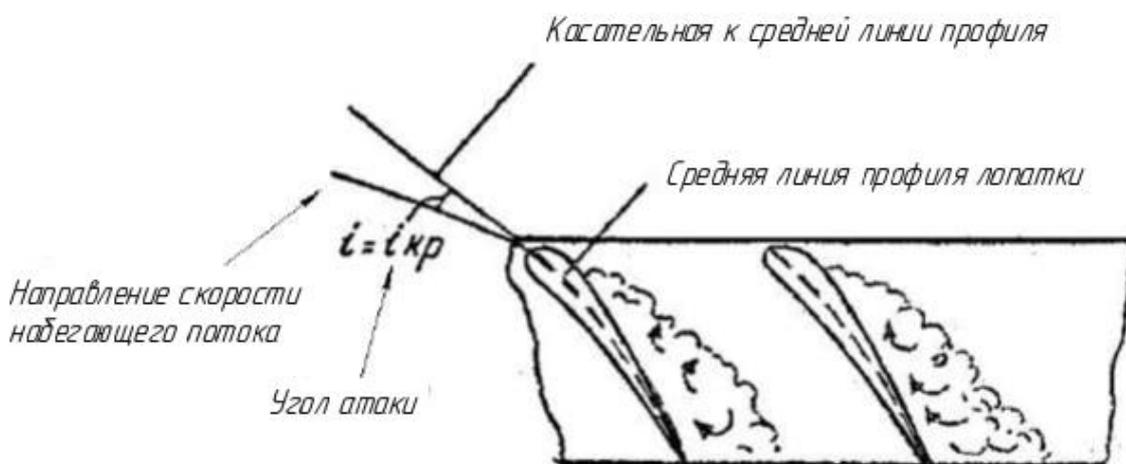


Рисунок 2 – Графическое представление угла атаки

В результате срыва происходит турбулизация потока воздуха, другими словами появляется вихревая зона (зона образования множества вихрей, вследствие сложного движения газа), которая заполняет большой объем межлопаточного канала, прилегающего к всасывающей стороне лопасти. Эта зона является низкоэнергетической, через нее газ из области высокого давления (нагнетания) устремляется с высокой скоростью в область низкого давления (всасывания), навстречу основному потоку. Обратный проброс происходит с высокой скоростью, при этом давление в нагнетательном тракте понижается, а во всасывающем увеличивается и обратный проброс приостанавливается до

очередного перепада давлений, при котором все повторяется. Как следствие, при помпаже возникает повышенная вибрация корпуса, что является абсолютно недопустимым, происходят хлопки и пульсации давления в нагнетательном патрубке [1].

Помпаж компрессора - это нестабильная работа компрессора, которая возникает, когда давление нагнетания велико по сравнению с расходом через компрессор. Помпаж является одним из опасных и вредных явлений для любого центробежного газового компрессора. Помпаж также может быть определен, как рабочая точка, в которой достигается максимальная мощность напора компрессора и пределы минимального объемного расхода. Помпаж опасен тем, что он вызывает сильную вибрацию, и как следствие повреждение деталей компрессора.

Помпаж в разных условиях проявляется с различной интенсивностью. От едва заметных изменений подачи, производительности и мощности до значительных резких изменений, опасных для нагнетательной установки, трубопроводной системы и контактирующих с ними установок и агрегатов [7].

Поэтому для поддержания рабочей точки компрессора в безопасных рабочих пределах, необходима антипомпажная защита.[37].

### **1.3. Сущность антипомпажного регулирования**

*Задачей антипомпажной защиты и регулирования* является поддержание помпажного запаса на заданном уровне, обнаружение помпажного состояния и вывод компрессора из зоны помпажа. Поддержание помпажного запаса достигается за счет оперативного частичного открытия антипомпажного клапана (АПК) при достижении рабочей точкой линии регулирования или же при быстром приближении к ней. Степень открытия антипомпажного клапана (АПК) определяется контуром управления антипомпажного регулирования [12].

Из задачи следует, что, *сущность антипомпажного регулирования* заключается в управлении и контроле положением рабочей точки компрессора по отношению к линии границы помпажа.

Для каждой скорости компрессора в зависимости от объемного расхода и степени сжатия газа можно определить кривую, которая описывает все рабочие точки компрессора. Каждая из полученных кривых соответствует своим пределам по точке помпажа, соответствующему максимальному напору. Все точки помпажа, определенные для разных скоростей, представляют собой граничную линию, называемую Surge Limit Line, («SLL»), слева от этой линии находится нестабильная зона работы компрессора.

Основная цель антипомпажной системы регулирования - избежать того, чтобы рабочая точка «А» достигла кривой «SLL» (рисунок 3). Для достижения этой цели, справа от «SLL», определена линия защиты, с помощью которой система управления будет предотвращать помпаж, открывая антипомпажный клапан. Эта линия называется линией управления Surge Control Line, («SCL»). Открытие антипомпажного клапана увеличивает поток газа на входе, тем самым перемещая рабочую точку вдоль кривой характеристики скорости от критического состояния до стабильной рабочей зоны.

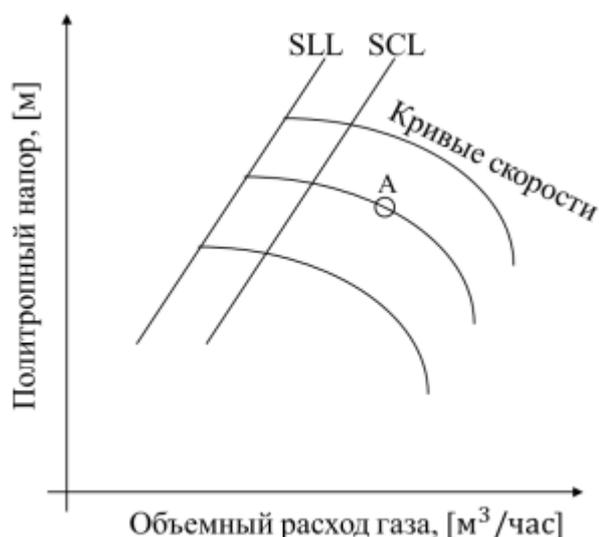


Рисунок 3 – Контроль положения рабочей точки компрессора антипомпажным клапаном

На сегодняшний день типичная антипомпажная система управления состоит из регулирующего клапана и линии рециркуляции, соединяющей точки нагнетания и всасывания компрессора. В зависимости от положения

антипомпажного клапана, линия рециркуляции позволяет передавать часть нагнетаемого потока на сторону всасывания компрессора, что приводит к увеличению расхода на всасывании и снижению давления на выходе компрессора. Антипомпажная система управления состоит из контрольно-измерительных приборов на линиях всасывания и нагнетания компрессора, где измеряются: температура, давление, объемный расход газа, положение антипомпажного клапана (рисунок 4) [8].

Необходимыми компонентами любой антипомпажной системы управления являются линии помпажа, предоставляемые производителем компрессора.

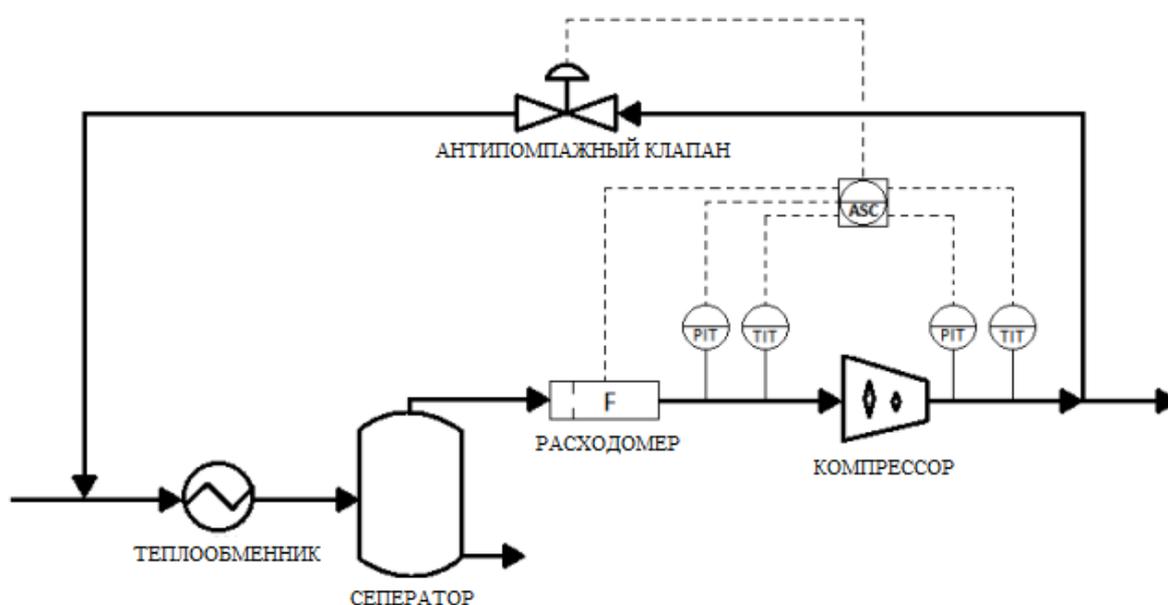


Рисунок 4 – Основные составляющие антипомпажного регулирования.

## **2. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АНТИПОМПАЖНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА.**

### **2.1 Проблематика добычи нефти и газа в условиях Крайнего Севера**

Крайний Север — это территория, которая превышает несколько европейских государств. Ему характерны экстремальные климатические условия, четверть всех валютных поступлений в государственный бюджет России исходит из этого региона.

Здесь ежегодно добывается 20 % мирового и 90 % — российского газа и нефти. Более того, Крайний Север — это не только мощная сырьевая база страны сегодня, это и своего рода гарант энергетической безопасности государства на многие годы вперёд: здесь сосредоточена четверть всех разведанных мировых запасов природного газа и нефти.

Согласно статистическим данным, приведенным в докладе Геологической службы США, в недрах Антарктики может быть сосредоточено около 90 млрд. баррелей нефти и 47 трлн. кубических метров газа. На дне Северного Ледовитого океана находится почти 20 процентов общемировых запасов нефти и 30 процентов запасов газа [2]. На сегодня возможные объёмы газа в Антарктике равны всем разведанным в России газовым месторождениям. Такие цифры значительно обостряют борьбу России, Соединенных Штатов Америки, Канады, Дании и Норвегии за доступы к этим залежам. Согласно обнародованным в разные периоды данным, в российской части Арктического моря могут находиться нефти около 700 млн тонн, природного газа — около 50 млрд кубических метров. Около 80 % российского газа и 70 % российской нефти находятся в регионе Северного Ледовитого океана, остальные — в пределах континентального шельфа.

Сегодня рост мирового спроса на нефть преимущественным образом удовлетворяется за счёт разработки тяжелой нефти, залежи которой сосредоточены на морских шельфах. По оценкам группы «Geostrategy», отсутствие новых крупных залежей нефти и газа в традиционных регионах

добычи энергоносителей будет заставлять нефтяные и газовые компании переходить к:

- а) разработке глубоководных залежей энергоносителей;
- б) разработке залежей энергоносителей в регионах с суровыми климатическими условиями, в том числе в Арктике;
- в) добыче тяжелой нефти (крупнейшими залежами тяжелой и битуминозной нефти обладает Канада — провинции Альберта, Атабаска и Вабаска, а также Венесуэла — битуминозный пояс Ориноко; значительные залежи этой нефти также сосредоточены в России, Китае и Кувейте). Крайний Север может внести немалую лепту в решение энергетических проблем человечества, что и формирует беспрецедентный интерес мирового сообщества к полярному региону.

С тех пор, как в конце 2012 года буровая установка Kulluk, принадлежащая компании «Shell», села на мель у острова Кадьяк, штат Аляска, была создана американская комиссия для изучения процедур техники безопасности арктических программ.

Критики говорят, что этот несчастный случай доказал, что арктическая нефтяная деятельность слишком рискованна. Существует широко распространённое мнение среди экспертов, что буровые или транспортировочные аварии в Арктике будет очень трудно уладить. Последствия для окружающей среды могут быть катастрофическими.

Разработка новых и эксплуатация уже существующих месторождений в районах Крайнего Севера требуют от технологического оборудования повышенной устойчивости к экстремальным климатическим условиям.

По этой причине безотказная и безаварийная работа газоперекачивающих агрегатов и систем их регулирования имеет не только экономический характер, а так же имеющая большое значение для окружающей среды региона.

## 2.2 Прогнозирование режимов работы дожимных компрессорных станций

### 2.2.1 Математическая модель расчетов показателей работы дожимной компрессорной станции

Основные показатели, определяющие эффективность работы нагнетателя, в зависимости от режима его работы — это газодинамические характеристики. Степень сжатия одного ГПА принимается по газодинамическим характеристикам в зависимости от производительности, требуемой мощности и других параметров. В качестве основного показателя режима работы используется объемная производительность центробежного нагнетателя и частота его вращения. В качестве показателя экономичности для нагнетателя ГПА рассматривается политропный коэффициент полезного действия. Расчет основных показателей энергоэффективности производится в соответствии с СТО Газпром 2-3.5-113-2007 [21].

Внутренняя мощность ЦБН является зависимостью от частоты вращения и объемного расхода и в общем случае выглядит так (1):

$$\pi, \eta_n, N = f(n, V), \quad (1)$$

где  $\pi$  – степень сжатия, доля ед;

$\eta_n$  – политропный КПД, доля ед;

$N$  – внутренняя мощность, Вт;

$n$  – частота оборотов рабочего колеса, мин<sup>-1</sup>;

$V$  – объемный расход, м<sup>3</sup>/сут.

Зависимость (1) является размерной (нормальной) газодинамической характеристикой нагнетателя. Именно на основе этой зависимости моделируются режимы работы каждой ступени нагнетателей.

Внутренняя мощность ЦБН вычисляется согласно методическим указаниям ПР 51-31323949-43-99 [22]:

$$N = \frac{k}{k-1} z_{cp} R (T_{2н} - T_{1н}) G_n = 4 \frac{k}{k-1} z_{cp} R (T_{2н} - T_{1н}) q_n, \quad (2)$$

где  $\frac{k}{k-1}$  – показатель псевдоизоэнтропы;

$z_{\text{ср}}$  - среднее значение коэффициента сжимаемости природного газа;  
 $T_{1н}, T_{2н}$  - температура газа на входе и выходе группы (нагнетателя), К;  
 $G_H$  - массовая производительность ЦБН, кг/с, определяемая по результатам измерений;

$q_H$  - коммерческая производительность ЦБН, млн м<sup>3</sup>/сут;

$R$  – газовая постоянная, Дж/(моль · К),

Газодинамические характеристики нагнетателя получают, как правило, опытным путем. При эксплуатации ДКС условия ее работы, включая и свойства газа, с течением времени изменяются в довольно широких пределах. В связи с этим для оценки эксплуатационных свойств нагнетателей требуется большое число размерных характеристик. Чтобы избежать этого, на практике широко применяются приведенные (универсальные) характеристики (рисунок 5).

В процессе натурных испытаний ГПА редко удается снять газодинамические характеристики при постоянных значениях  $p_k, T_k$  и  $\pi$ , а также получить экспериментальные зависимости типа (1) во всем диапазоне изменения частот вращения. Ввиду этого, а также высокой стоимости натурных испытаний для повышения надёжности и достоверности результатов испытаний используется аппарат теории подобия.

Газодинамические характеристики компрессора НЦ-16/56-1,45,  
 расчётные величины:  $k = 1.312, Z = 0.925, R = 507.9$  Дж/(кг·К),  $T_n = 288$ К,  $n_{\text{ном}} = 5300$  об/мин

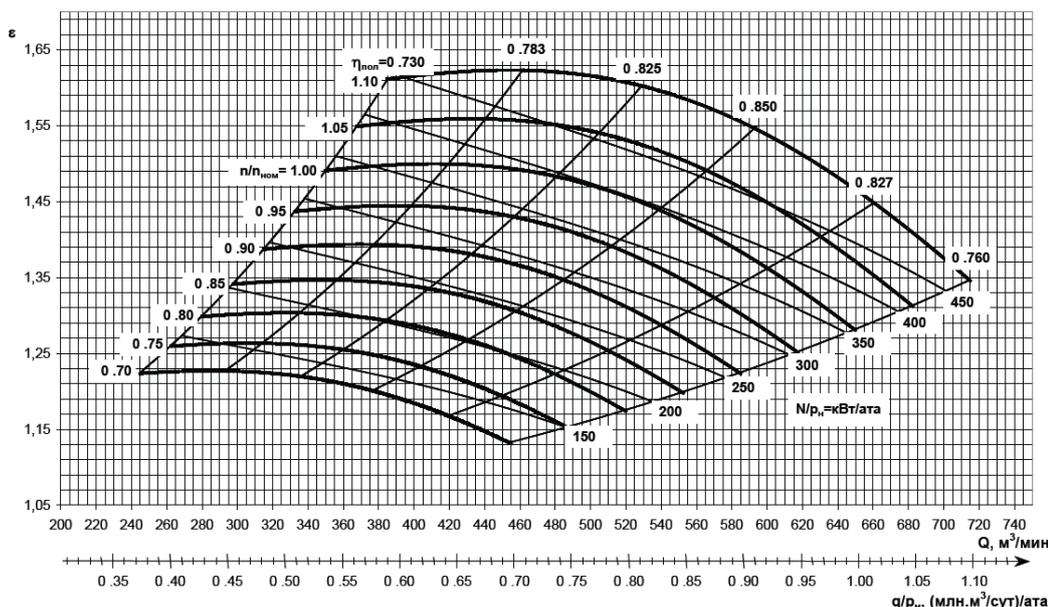


Рисунок 5 – Зависимость приведенного политропного КПД и степени сжатия от коммерческого расхода ЦБН

Согласно теории турбомашин, на процесс сжатия и потребляемую нагнетателем мощность  $N$ , Вт влияет ряд факторов: кроме геометрии проточной части и частоты вращения оказывают влияние также свойства газа, определяемые газовой постоянной  $R$ , его плотностью  $\rho$ , показателем адиабаты  $K$ , вязкостью  $\mu$  и т.д. Данная зависимость представлена выражением (3)

$$\pi, \eta, N = f(D, n, V, R, \rho, K, \mu) \quad (3)$$

где  $D$  – диаметр рабочего колеса, м,

$n$  – частота вращения рабочего колеса,  $\text{мин}^{-1}$ ,

$V$  – объемный расход,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ,

$\rho$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,

$R$  – газовая постоянная,  $\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ ,

$\mu$  – вязкость,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ ,

$\pi$  – степень сжатия, д. ед,

$\eta$  – политропный КПД, д. ед.

Используя основную теорему размерностей,  $\pi$ – теорему, это уравнение можно преобразовать к виду (4)

$$\pi, \eta, N = f(\Phi, M, Re, K) \quad (4)$$

где  $\Phi$  – коэффициент расхода, д. ед,

$M$  – условное число Маха, д. ед,

$Re$  – условное число Рейнольдса, д. ед,

$K$  – показатель адиабаты, д. ед.

Если в процессе работы нагнетателя при изменении  $n$ ,  $V$ ,  $R$ ,  $\rho$  т.е. при изменении режимов работы, критерии остаются неизменными, то процессы сжатия в нагнетателе при этих режимах работы будут подобны, причем будут неизменными не только степень сжатия, КПД и мощность. Безразмерные соотношения, образованные из размерных величин подобных режимов. К ним относятся отношения давлений и температур, коэффициенты напора и др. Именно на основе безразмерных критериев подобия получены зависимости

результатов испытаний на различных режимах для коэффициента напора и политропного КПД в виде функции коэффициента расхода (5)

$$\eta_{\Pi}, \psi_{\Pi} = f(\Phi), \quad (5)$$

где  $\Phi$  – коэффициент расхода,

$\psi_{\Pi}$  – коэффициент напора

$\eta_{\Pi}$  – политропный КПД, %

Политропный КПД ЦБН (6) также может быть вычислен согласно методическим указаниям ПР 51-31323949-43-99 [22]:

$$\eta_{\Pi} = \frac{k-1}{k} \cdot \frac{1}{m_T}, \quad (6)$$

где  $m_T$  – температурный показатель политропы, который вычисляется по формуле

$$m_T = \frac{\lg \frac{T_{2H}}{T_{1H}}}{\lg \frac{P_{2H}}{P_{1H}}}$$

Большинство технических газов при давлении до 1.2 МПа можно считать идеальными, т.е. для них справедливо уравнения Менделеева-Клапейрона (7).

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (7)$$

где  $p$  – давление, Па,

$\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>,

$R$  – газовая постоянная, Дж/(моль · К),

$T$  – температура газа, К.

При больших величинах давления газы следует считать реальными, а отклонения от уравнения состояния учитывать специальными функциями сжимаемости  $Z(P, T)$ . По уравнению состояния газовой смеси определяется работа сжатия (8)

$$H_{\Pi} = \frac{k}{k-1} Z_H T_H R \left( \pi^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right), \quad (8)$$

где  $H_{\Pi}$  – работа сжатия, Дж;

$k$  – показатель политропы, д.ед.;

$Z$  – коэффициент сверхсжимаемости, д.ед.;

$T$  – температура, К;

$R$  – газовая постоянная, Дж/(моль·К)

$\pi$  – степень сжатия, д. ед.

По вычисленным значениям работы сжатия и окружной скорости определяется коэффициент политропного напора  $\psi_{\pi}$  (9)

$$\psi_{\pi} = \frac{H_{\pi}}{u^2}, \quad (9)$$

где  $H_{\pi}$  – работа сжатия, Дж;

$u$  – окружная скорость рабочего колеса, м/с,

Условный коэффициент расхода (10) рассчитывается по измеренной производительности по условиям всасывания

$$\Phi = \frac{4V_{\text{вх}}}{\pi D^2 u}; \quad (10)$$

где  $V_{\text{вх}}$  – объемный расход, м<sup>3</sup>/с;

$u$  – окружная скорость рабочего колеса, м/с;

$D$  – диаметр рабочего колеса, м;

Окружная скорость определяется как (11)

$$u = \frac{\pi D n}{60} \quad (11)$$

где  $D$  – диаметр рабочего колеса, м;

$n$  – частота вращения рабочего колеса, мин<sup>-1</sup>;

$u$  – окружная скорость рабочего колеса, м/с.

По полученным экспериментальным значениям коэффициента напора и политропного КПД (6) строится графическая зависимость – безразмерная характеристика нагнетателя (рисунок б), которая аппроксимируется методом наименьших квадратов полиномом  $n$ -степени (степень выбирается индивидуально, рекомендуется квадратичная зависимость). Кривую аппроксимации необходимо ограничить линией режима помпажа (при малых объемных расходах) и линией ввода в турбулентный режим (так как при

больших объемных расходах в лопатках рабочего колеса начинаются завихрения).

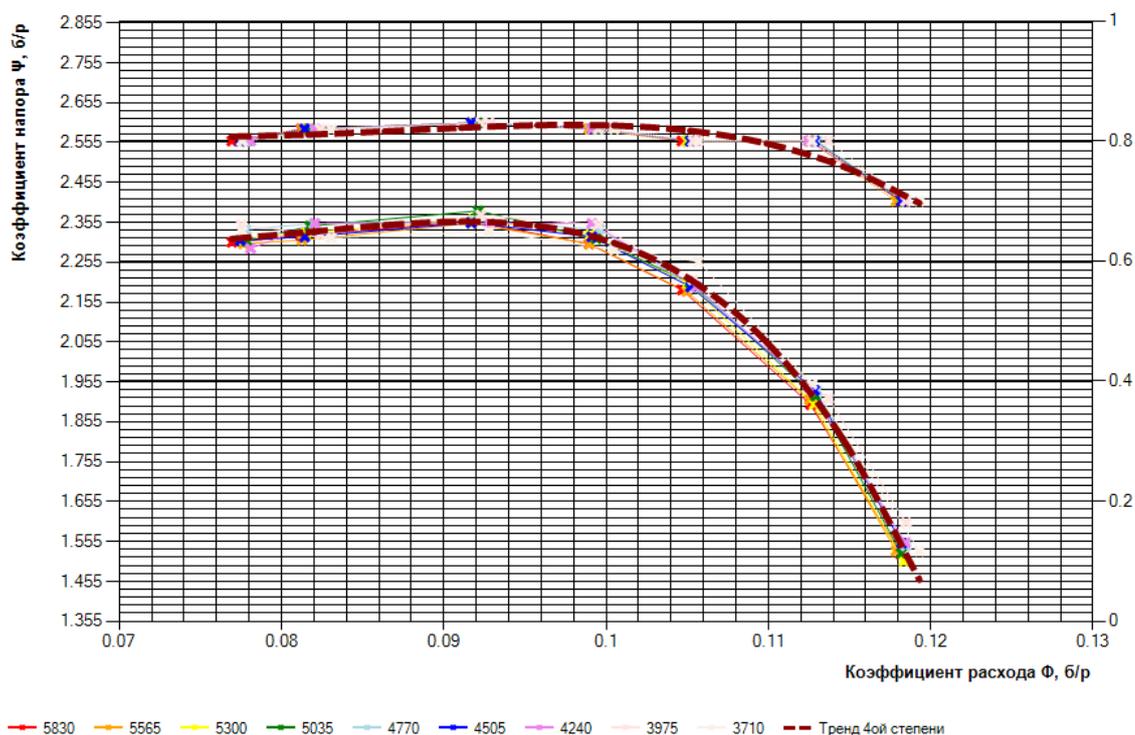


Рисунок 6 – Пример безразмерной газодинамической характеристики

Построение данной зависимости позволяет оценить степень разброса экспериментальных значений, выявить «выпавшие» точки. Полученная экспериментальная безразмерная характеристика нагнетателя (неохлаждённой секции компрессора) в дальнейшем используется для определения внешних (приведенных) характеристик нагнетателя при различных условиях его работы.

Расчет и построение приведенных характеристик проводится следующим образом. По безразмерной характеристике определяется ряд значений  $\eta$ ,  $\psi$ . Для рассчитываемых частот вращения определяются соответствующие окружные скорости. Значения степени сжатия  $\pi$  для данной окружной скорости определяются на основании расчета работы сжатия. В каждой из принятых точек диапазона  $\Phi$  рассчитываем работу сжатия по уравнению (8). По полученным значениям работы сжатия пересчитываются значения степени сжатия при соответствующих значениях коэффициентов расхода, а приведенная производительность определяется из соотношения (10).

## 2.3. Способы управления работой нагнетателей.

### 2.3.1. Регулирование антипомпажным клапаном

Антипомпажная система защищает компрессор от риска возникновения помпажа и является важной частью системы управления. На рисунке 5 показана схема антипомпажного контура управления, внедренная в разработанную систему моделирования. Задание для контура управления вычисляется в зависимости от помпажной линии (SCL - Surge Control Line). Основная задача антипомпажного регулятора давать задание на положение рециркуляционного клапана, соединяющего выход и вход газового компрессора, что позволяет перенаправлять часть выходного расхода газа из компрессора на его вход, тем самым, в случаях необходимости, увеличивать расход газа на входе в компрессор и предотвращать риск возникновения такого опасного явления как помпаж. Ввиду того, что антипомпажный регулятор регулирует положение рециркуляционного клапана, параметры технологического процесса компримирования также меняются. На основе данных процесса ведется вычисление текущего параметра для заданного контура управления.

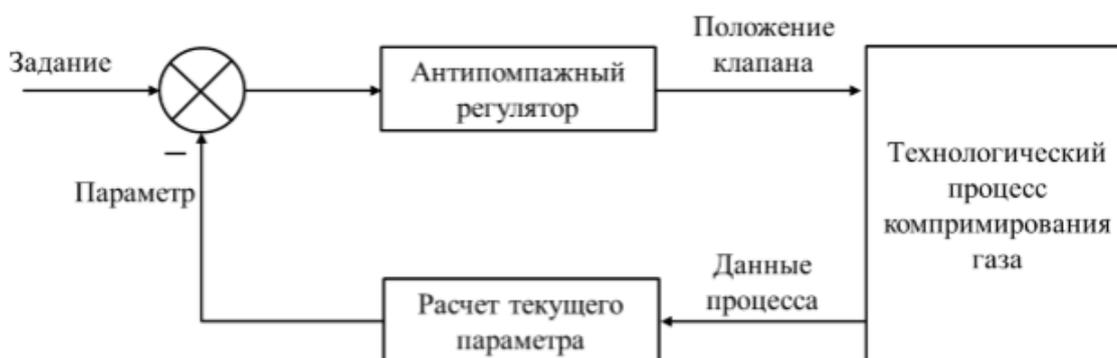


Рисунок 7 – Антипомпажный контур управления

#### Описание регулирующего антипомпажного клапана

Каждый компрессор, оборудованный антипомпажным регулирующим клапаном, который предотвращает повреждение компрессора вследствие помпажа.

Контрольный клапан, который служит для защиты компрессора, называется антипомпажным регулирующим клапаном. При нормальной работе

компрессора регулирующий клапан закрыт, но, как только возникает опасность помпажа, он немедленно открывается, соединяя входное и выходное отверстия компрессора.

Тот же контрольный клапан может использоваться для рециркуляции во время запуска компрессора. Клапан открывается всякий раз, когда возникает необходимость рециркуляции потока. В случае открытия регулирующего клапана считается, что рассеянная им энергия равна расчетной мощности компрессора.

Компания «Mokveld» поставляет высоконадежные быстродействующие контрольные клапаны. Оснащение контрольного клапана сконструировано таким образом, что в чрезвычайной ситуации он открывается менее чем за две секунды.

Контрольные клапаны «Mokveld» отличаются высокой точностью и позволяют избежать перерегулирования. Конструкция регулирующего клапана осевого типа «Mokveld», обеспечивающая равновесие давлений, делает клапан нечувствительным к резким перепадам давления и потока среды [24].

Регулирующие клапаны осевого типа фирмы «Mokveld» имеют конструкцию не требующую частого обслуживания и спроектированную с целью получения высокой эффективности в широком диапазоне областей применения регулирующей арматуры. Спряmlенная осесимметричная проточная часть устраняет вихревые течения и неоправданные изменения направления потока среды в клапане. Конструкция осевого типа обеспечивает большую пропускную способность при том же диаметре, чем любая обычная конструкция.

Клапаны осевого типа с подтвержденными на практике высокими эксплуатационными характеристиками помогут сократить затраты на дорогостоящее техническое обслуживание, а также потери производственного времени. Эта продукция гарантирует безопасную и надежную работу установки.

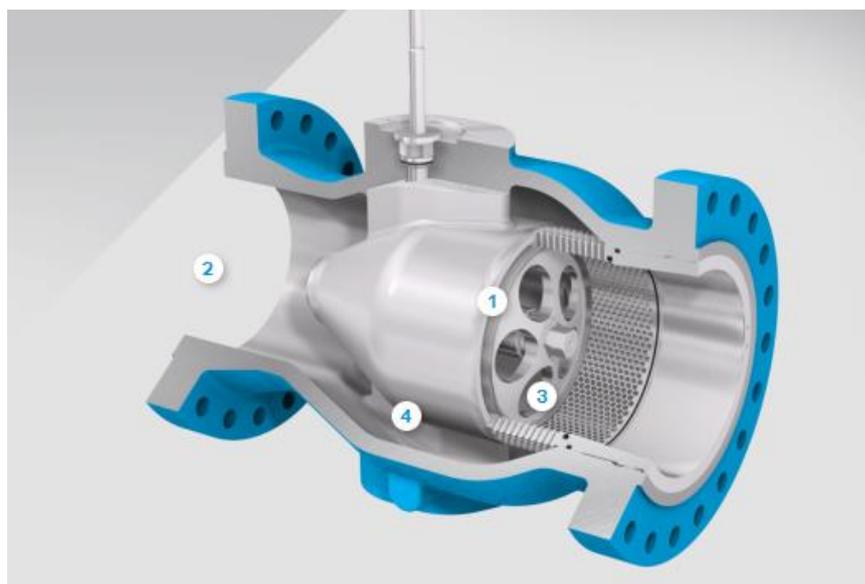


Рисунок 8– Регулирующий клапан осевого типа фирмы Mokveld [25]

В конструкции клапана осевого типа фирмы «Mokveld» поток движется в спрямленном кольцевом пространстве и равномерно распределяется по сепаратору. Осевой поток формируется в прямолинейном симметричном проточном контуре между внутренним и наружным корпусами клапана. В результате этого снижаются местные скорости течения, турбулентность и механическое воздействие потоков среды и твердых частиц. Это основа надежной работы клапана, поскольку устраняются вибрация, эрозия элементов конструкции, несимметричные течения и изменения направления течения потока газа.

### **Конструкция регулирующего антипомпажного клапана**

*Узел клапана* представляет собой устройство поршневого типа (рисунок 9). Основными элементами узла клапана являются: наружный корпус 1, внутренний корпус 2, поршень 3, шток поршня 4, шпindelь клапана 5 и сепаратор 6 с выполненными в нем радиальными отверстиями. Наружный и внутренний корпус представляют собой одну цельную отливку. Поршень перемещается вдоль продольной оси клапана. Конфигурация корпуса обеспечивает высокую пропускную способность при минимальных гидравлических потерях.

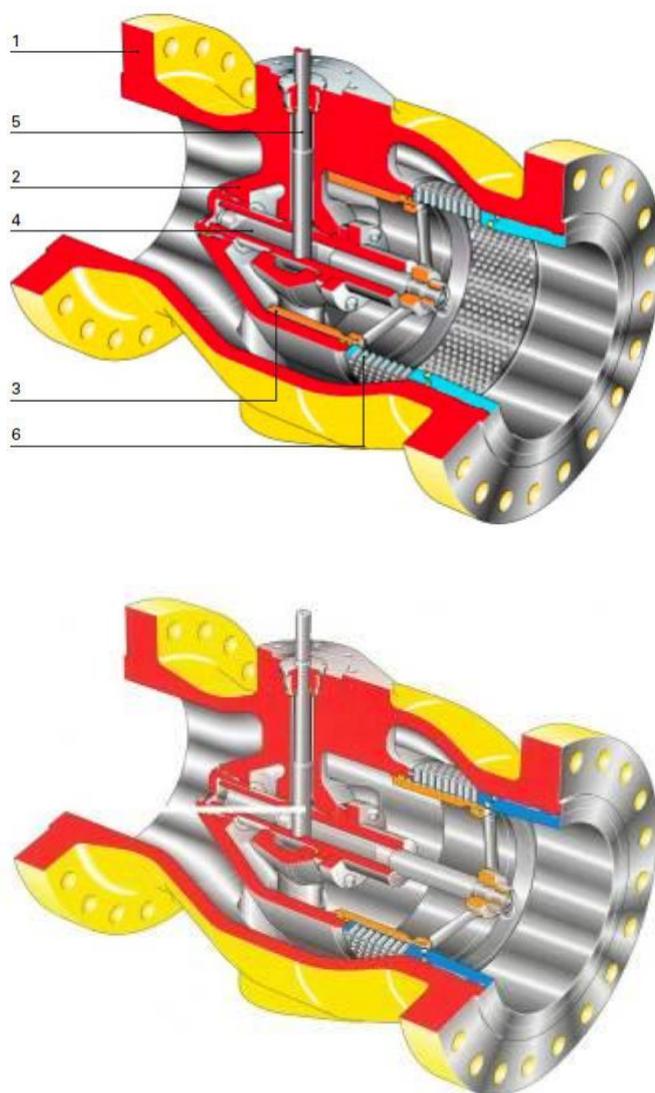


Рисунок 9 – Узел клапана в открытом положении(верхний рисунок) и закрытом положении(нижний рисунок)

Поршень перемещается при помощи реечной передачи, размещенной под углом  $90^\circ$  и состоящей из взаимоскользящих зубчатых реек с наклонными зубьями, выполненных на штоках поршня и сепаратора (рисунок 10). Минимальный зазор в зубчатой передаче исключает люфт между штоками поршня и клапана. Зубчатые рейки изолированы от внешней и перекачиваемой сред двойными уплотнениями на штоках. Полость, в которой работает передача, заполнена смазкой в связи, с чем отпадает необходимость частого технического обслуживания.

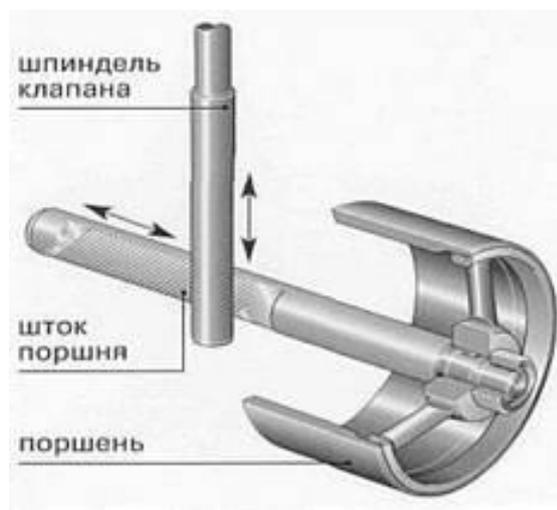


Рисунок 10 – Узел реечной передачи

**Привод клапана** осуществляется при помощи силового пневмоцилиндра одностороннего действия, который устанавливается непосредственно на фланце корпуса узла клапана. Шпindelь узла клапана соединяется со штоком пневмопривода соединительной муфтой, которая расположена в нижней части пневмопривода. При подаче давления в полость над поршнем штока пневмопривода через соединительную муфту передает поступательное движение на шпindelь и далее посредством зубчатой реечной передачи на поршень узла клапана. Возвратное поступательное движение обеспечивается силой упругости пружин [27].

### 2.3.2 Регулирование дросселированием на нагнетании

Регулирование технологического процесса в этом случае осуществляется путем установки регулирующей арматуры (дроссельного устройства) на нагнетающем трубопроводе. Данный метод воздействия на сеть находит широкое применение в практике. С помощью графика, который представлен на рисунке 11(а), можно оценивать количественные и качественные результаты дросселирования на нагнетании. Вид характеристики компрессора оказывает весомое влияние на процесс. Регулирование дросселированием на нагнетании при эксплуатации компрессоров постоянной производительности не приводит к ожидаемому результату (рисунок 11, б). Повышение сопротивления сети влечет за собой перемещение рабочей точки из положения «А» в положение «В». При этом ограничивается диапазон

регулирования в связи с вероятностью возникновения помпажа. Изменение характеристики нагнетателя не приводит к каким-либо дополнительным затратам на перемещение среды в сети. Однако, необходимы дополнительные разовые вложения средств на приобретение и установку устройств, которые будут изменять характеристику компрессора. Некоторые из этих устройств также оказывают влияние и на сеть. Для рассматриваемого способа регулирования характерны высокие энергетические затраты. Процесс дросселирования связан с ростом расхода энергии привода, которая расходуется на преодоление сопротивления сети и на преодоление внутреннего сопротивления компрессора. Чем глубже процесс дросселирования – тем больше непроизводительные затраты мощности [13].

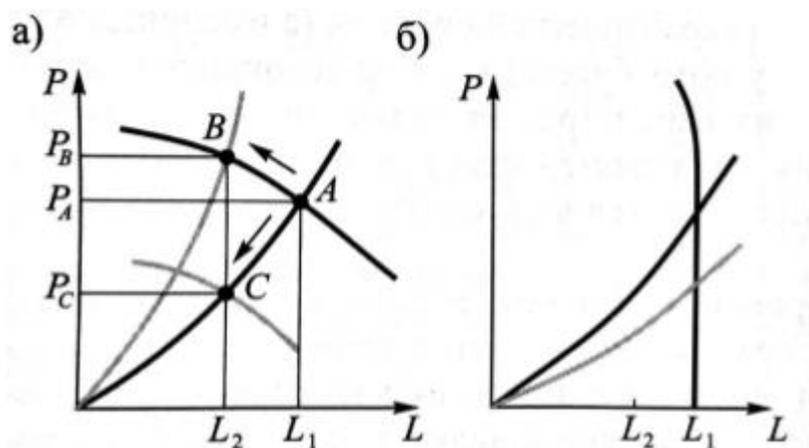


Рисунок 11 – Характеристики системы в координатах  $P - L$

### 2.3.3 Регулирование дросселированием на всасывании

Данный способ регулирования имеет свои отличия от дросселирования на нагнетании. В данном случае давление, развиваемое центробежным компрессором, пропорционально плотности компримируемого газа. Поскольку данный процесс сопровождается снижением статического давления на входе в компрессор, следовательно, снижается плотность поступающего к рабочему колесу газа. Из этого можем сделать вывод, что будет падать развиваемое компрессором давление и уменьшаться непроизводительные потери на регулирующем органе. По этой причине дросселирование на всасывании

является экономически более выгодным, чем дросселирование на нагнетании [30].

### **3. Экспериментальная часть.**

В экспериментальной части магистерской работы будет рассмотрено устройство локального удаления влаги, устанавливаемое на линии подведения воздуха к пневматическому антипомажному клапану. Устройство предназначено для повышения надежности работы антипомажного клапана.

В связи с условиями работы оборудования в условиях Крайнего Севера, очень важным аспектом является его безотказность. Исходя из специфики природных факторов этих регионов, воздух является основой, применяемой для функционирования нефтегазового производства.

Для обеспечения сжатым воздухом потребителей промысла предусмотрены станции подготовки, где технологические решения обеспечивают следующие операции:

- производство сжатого воздуха, с давлением, требуемым для потребителя;
- очистка и осушка сжатого воздуха до 1 или 2 класса загрязненности, по составу и содержанию посторонних примесей, согласно ГОСТ 17433-80;
- хранение и регулирование подготовленного сжатого воздуха.

В частности, сжатый воздух применяется в качестве рабочего тела для пневмоприводов запорно-регулирующей арматуры.

К такой арматуре относятся как клапаны-регуляторы, так и антипомпажные клапаны пневматические.

При сезонных изменениях температуры, влекущих неоднократные циклы замерзания и оттаивания, в местах соединения потребителя и станции подготовки воздуха, могут образоваться неплотности. Через эти неплотности в систему сжатого воздуха может проникать и накапливаться влага, которая конденсируется в пневмоприводах запорно-регулирующей арматуры. Влага при замерзании затрудняет или полностью парализует работоспособность пневмоарматуры. Такое стечение обстоятельств может привести к возникновению аварийной ситуации и, как следствие, угрозы жизни человека.

Особенно актуально, чтобы влага не попадала в пневмопривод антипомпажного клапана, ведь этот клапан предохраняет компрессор от помпажного явления, опасного для лопаток центробежного компрессора. Для антипомпажного клапана важна скорость срабатывания, чем быстрее сработает клапан, тем меньше нагрузок испытает компрессор и, как следствие, увеличится ресурс его работы.

Для устранения неблагоприятного воздействия, описанного выше, предложено устройство локального удаления влаги перед антипомпажным клапаном, которое устанавливается на пневмопроводе сжатого воздуха.

Устройство основано на проверенной производственным опытом технологии удаления влаги с помощью адсорбции. В качестве адсорбента выступает силикагель. Преимущество силикагеля в том, что он дешёв и при этом обладает способностью аккумулировать влагу до 70% от собственного веса (ГОСТ 3956-76).

В конструкции устройства (рисунок 12) предусмотрен тангенциальный отклонитель (1) на входе, служащий для направления потока сжатого воздуха по образующей поверхности цилиндрического корпуса. При таком направлении воздух приобретает вращательный характер, а на его частицы начинают действовать центробежные и инерционные силы. При этом влага, имеющаяся в воздухе, отбрасывается к периферии устройства локального удаления влаги, где далее стекает вниз в сборник жидкости (3). В сборнике жидкости установлен дискретный датчик (5), показывающий уровень влаги. Данные с датчика передаются в операторную промысла.

Аналогичный тангенциальный отклонитель применяется на фильтрах-сепараторах газа, отличие лишь в размерах и рабочем давлении аппарата.

После отклонителя воздух проходит через колбу, наполненную силикагелем, где дополнительно осушается и идет на вход пневмоарматуры клапана.

Для замены силикагеля, колба (2) соединена с глухим фланцем (4), который при откручивании вытаскивает за собой колбу. Фланец и колба соединяются резьбой.

Все фланцевые соединения выбраны из стандартных, представленных в ГОСТ 33259-2015.

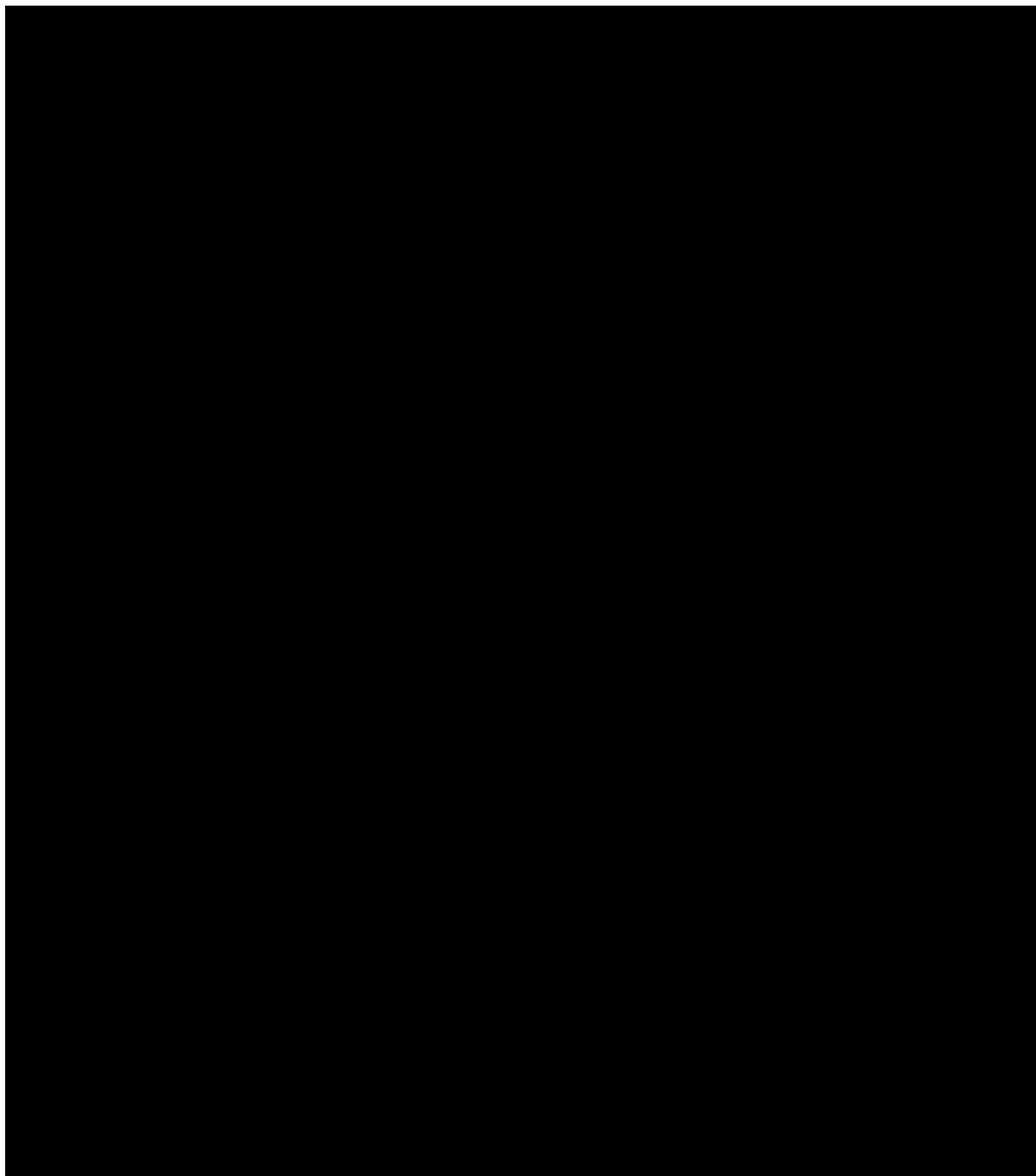


Рисунок 12 – Устройство локального удаления влаги, общий вид

Для эксплуатации устройства в зимнее время, к нему необходимо подвести линии теплоспутника. В качестве теплоносителя для обогрева емкости используется горячая вода от котельной.

Тепловая изоляция выполнена матами минераловатными прошивными по ГОСТ 21880-2011.

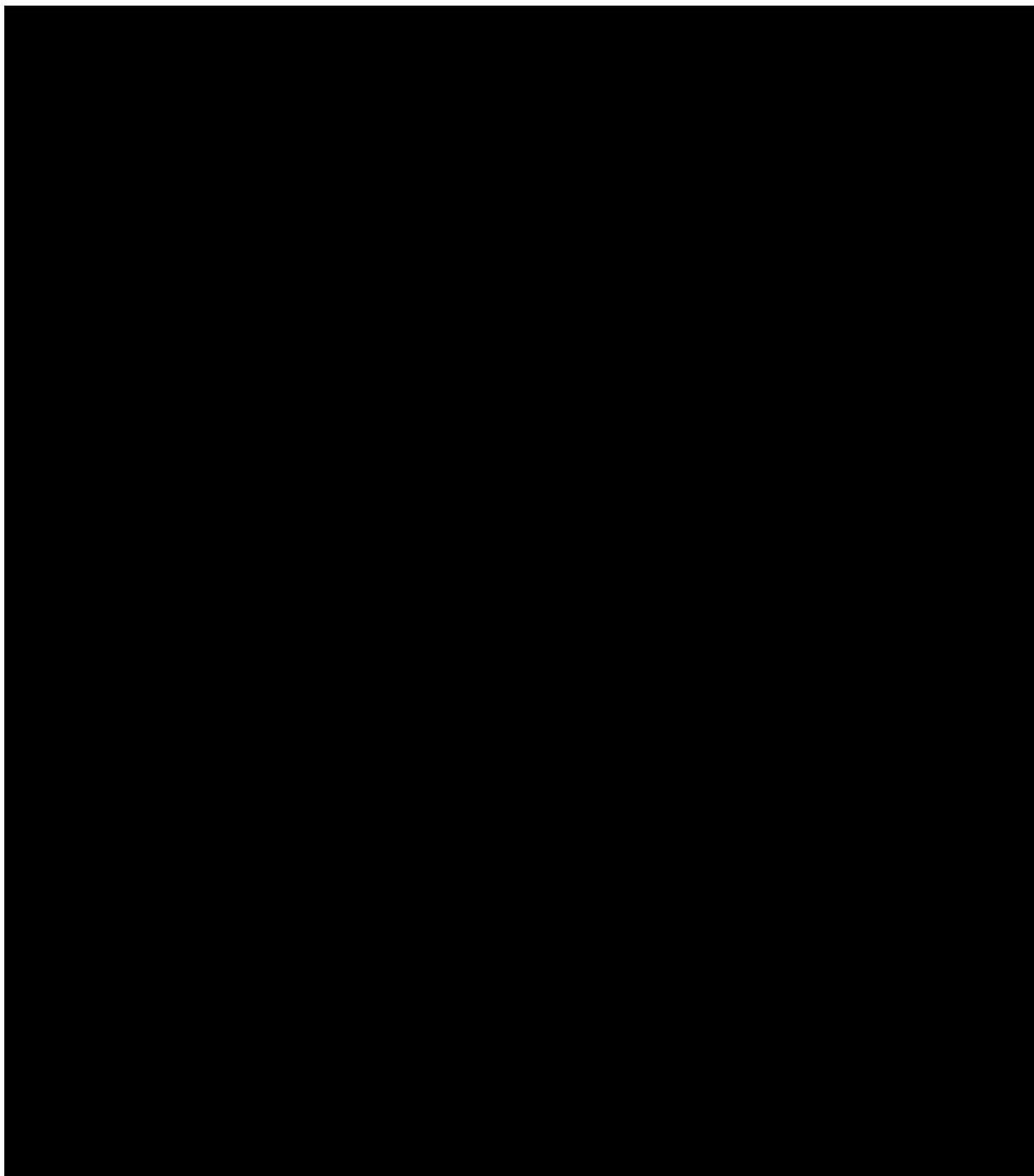


Рисунок 13 – Основные размеры устройства

Габаритные размеры устройства: высота 380 мм, ширина (по краям фланцев) 282 мм, длина 180мм. Объем кассеты для силикагеля 955см<sup>3</sup>. Этот объем позволяет вместить 700 грамм силикагеля. Исходя из этих данных и данных из ГОСТ 3956-76 получаем, что количество влаги, которое может впитать силикагель составляет 70% от собственного веса, то есть около 500 мл жидкости.

Толщина стенки обечайки 3,4 мм. Эта толщина образована тремя основными величинами:

- основная толщина обечайки;
- прибавка на коррозию;
- прибавка минусовой допуск (это значение предельного отклонения по толщине листа).

Такая толщина стенки способна выдержать давление в 2,59 МПа. Рабочее же давление для сосуда составляет 1,2 МПа, из этого следует, что если развиваемое давление станцией подготовки воздуха ниже давления способного выдержать сосудом, то установка предохранительных устройств, а так же манометров не требуется.

Сталь для обечайки выбрана 09Г2С. Сталь конструкционная низколегированная, применяется для деталей и элементов сварных металлоконструкций, работающих при температуре от -70 до 425 °С под давлением. Сварка такой стали может выполняться любым методом без ограничений: ручная дуговая, аргонодуговая под флюсом в защитной среде и контактная сварка.

Все фланцевые соединения выбраны из стандартных, представленных в ГОСТ 33259-2015.

Из рисунка 12 видно, что конструктивно предусмотрены прорези для уравнивания давления в голубой и красной области. Сделано это для того что бы давление от источника действовало на обечайку по всей внутренней ее полости.

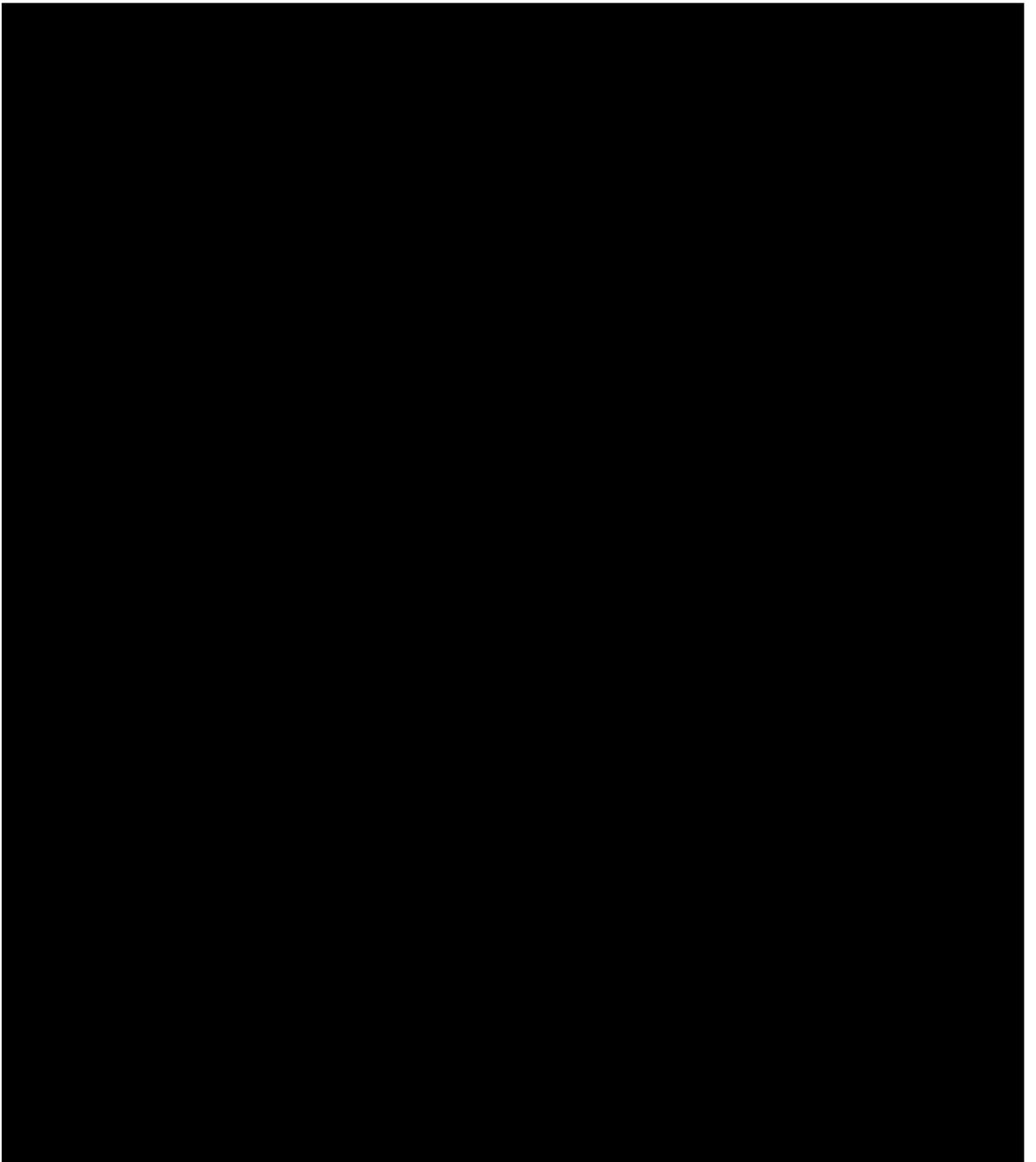


Рисунок 14 – Распределение давления внутри обечайки.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2БМ05	Кротов Евгений Владимирович

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

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оценка стоимости материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов на проведение работ на демонтаж регулирующего клапана седельного типа и установку антипомпажного регулирующего клапана на Мыльджинском нефтегазоконденсатном месторождении
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с государственными сметными нормативами
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налоговый кодекс Российской Федерации Ф3 №67 от 24.07.2009 в ред. от 26.03.2022

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

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Обоснование перспективности мероприятий на Мыльджинском нефтегазоконденсатном по предложенным вариантам смены схемы антипомпажной защиты
<i>2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Расчет доходов и затрат при проведении усовершенствования антипомпажной защиты
<i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка экономической эффективности проекта защиты от помпажа

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Графики зависимостей чистого дисконтированного дохода и внутренней нормы доходности
----------------------------------------------------------------------------------------

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
-------------------------------------------------------------	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Шарф И.В.	Д.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Кротов Евгений Владимирович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
2БМ05		Кротов Евгений Владимирович	
<b>Школа</b>	<b>ишпр</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОНД</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	21.04.01. Нефтегазовое дело/ «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

Тема ВКР:

Исследование и обоснование эффективного способа регулирования производительности центробежных компрессоров в условиях Крайнего Севера.

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

<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Рабочая зона – Мыльджинское газоконденсатное месторождение, в дожимная компрессорная станция. Оборудование: четырехцилиндровый поршневой компрессор «Ariel» JGJ 4/1, предназначенный для утилизации низконапорных газов. Климатическая зона <u>районы Крайнего Севера</u> Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне <u>огневые и газоопасные работы</u></i></p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p><i>-Правила безопасного ведения работ регламентируются ПБ 12-368-00 "Правила безопасности в газовом хозяйстве". Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке. -Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);</li> <li>2. ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);</li> <li>3. повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).</li> </ol>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><b>Источник опасных факторов:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работающие клапана;</li> <li>- маслосистема.</li> </ul> <p><b>Средства защиты:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защитные экраны;</li> <li>- термостойкие перчатки;</li> <li>-системы пожаротушения.</li> </ul> <p><b>Причины пожаров:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механическое повреждение патрубков;</li> <li>-утечка газа.</li> </ul> <p><b>Профилактические мероприятия:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обучение пожарной ТБ;</li> </ul>

	<p>-контроль оборудования.</p> <p>Первичные средства пожаротушения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- огнетушитель;</li> <li>- песок.</li> </ul> <p><b>Источник вредных факторов:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенный уровень шума;</li> <li>- повышенный уровень вибрации;</li> <li>- повышенная концентрация углеводородов в окружающей среде.</li> </ul> <p>Действие факторов на организм человека:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышение кровяного давления;</li> <li>- ухудшение внимательности и памяти;</li> <li>- снижение остроты зрения и слуха;</li> <li>- замедление скорости реакции;</li> <li>- быстрое утомление.</li> </ul> <p>Средства коллективной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- демпферы и виброгасители;</li> <li>- звукоизолирующие кожухи.</li> </ul> <p>Средства индивидуальной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- одежда с виброизолирующими элементами;</li> <li>- защитные очки и каска;</li> <li>- беруши;</li> <li>- противошумные наушники;</li> <li>- противошумные вкладыши;</li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p><b>Защита селитебной зоны:</b> учет санитарнозащитной зоны при строительстве газоперекачивающих станций.</p> <p><b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы продуктов сжигания и сепарации.</p> <p><b>Воздействие на гидросферу:</b> возможный разлив смазочно-охлаждающих жидкостей.</p> <p><b>Воздействие на литосферу:</b> твердые бытовые отходы при техническом обслуживании и ремонте агрегатов.</p> <p><b>Решения по обеспечению экологической безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- соблюдение инструкций при операциях по наливу и сливу смазочно-охлаждающих жидкостей;</li> <li>- все работники должны быть обучены безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90;</li> <li>- применение индивидуальных средств защиты по типовым отраслевым нормам при работе с нефтепродуктами</li> </ul>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> </ul>	<p>Наиболее типичная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пожар, взрыв в ангаре.</li> <li>- утечка углеводородов</li> </ul> <p>ЧС может случиться из-за:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- возгорание элементов;</li> <li>- короткое замыкание;</li> <li>- ошибка персонала, человеческий фактор;</li> <li>- сбой автоматизированного процесса.</li> </ul> <p>В случае возникновения данной аварийной ситуации необходимо действовать согласно инструкции, предписанной данному предприятию на случай возникновения ЧС.</p>
<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b></p>	

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Кротов Евгений Владимирович		

## **Введение**

В данном разделе рассматриваются вопросы по эксплуатации центробежного компрессора, безопасности рабочих в процессе обслуживания и эксплуатации. В качестве персонала рассматривается машинист технологических компрессоров.

Рабочим местом машиниста является машинный зал газоперекачивающего агрегата.

В обязанности машиниста входит обслуживание щитов управления агрегатного уровня, отдельных технологических компрессоров. Запуск и остановка газоперекачивающих агрегатов, регулирование технологического режима их работы, контроль за работой технологического оборудования. Ремонт компрессоров и их приводов, узлов газовых коммуникаций, аппаратов и вспомогательного оборудования цехов, выявление и устранение неисправностей в работе газоперекачивающих агрегатов. Ведение ремонтных журналов.

### **1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

#### **1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.**

Вахтовый режим работы — особая форма осуществления трудового процесса вне места постоянного проживания работников, когда не может быть обеспечено ежедневное их возвращение к месту постоянного проживания.

Законодатель устанавливает продолжительность вахты. Вахтой считается общий период, включающий время выполнения работ на объекте и время междусменного отдыха в данном вахтовом поселке. Рабочая смена может длиться ежедневно 12 ч подряд. Продолжительность вахты, включающая как рабочее время, так и время отдыха, не может превышать одного месяца.

В исключительных случаях с учетом мнения профкома продолжительность вахты может быть увеличена до трех месяцев (ст. 299 ТК РФ). За работу вахтовым методом производится доплата.

Часы переработки рабочего времени в пределах графика работы на вахте могут накапливаться в течение календарного года и суммироваться до целых дней с последующим предоставлением дополнительных дней отдыха.

В целях обеспечения прав и свобод человека и гражданина работодатель и его представители при обработке персональных данных работника обязаны соблюдать следующие общие требования [3]:

1) обработка персональных данных работника может осуществляться исключительно в целях обеспечения соблюдения законов и иных нормативных правовых актов, содействия работникам в трудоустройстве, обучении и продвижении по службе, обеспечения личной безопасности работников, контроля количества и качества выполняемой работы и обеспечения сохранности имущества;

2) при определении объема и содержания обрабатываемых персональных данных работника работодатель должен руководствоваться Конституцией Российской Федерации, настоящим Кодексом и иными федеральными законами;

3) все персональные данные работника следует получать у него самого. Если персональные данные работника возможно получить только у третьей стороны, то работник должен быть уведомлен об этом заранее и от него должно быть получено письменное согласие. Работодатель должен сообщить работнику о целях, предполагаемых источниках и способах получения персональных данных, а также о характере подлежащих получению персональных данных и последствиях отказа работника дать письменное согласие на их получение;

4) работодатель не имеет права получать и обрабатывать персональные данные работника о его политических, религиозных и иных убеждениях и частной жизни. В случаях, непосредственно связанных с вопросами трудовых отношений, в соответствии со статьей 24 Конституции Российской Федерации работодатель вправе получать и обрабатывать данные о частной жизни работника только с его письменного согласия;

5) работодатель не имеет права получать и обрабатывать персональные данные работника о его членстве в общественных объединениях или его профсоюзной деятельности, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Кодексом или иными федеральными законами;

6) при принятии решений, затрагивающих интересы работника, работодатель не имеет права основываться на персональных данных работника, полученных исключительно в результате их автоматизированной обработки или электронного получения;

7) защита персональных данных работника от неправомерного их использования или утраты должна быть обеспечена работодателем за счет его средств в порядке, установленном настоящим Кодексом и иными федеральными законами;

8) работники и их представители должны быть ознакомлены под роспись с документами работодателя, устанавливающими порядок обработки персональных данных работников, а также об их правах и обязанностях в этой области;

9) работники не должны отказываться от своих прав на сохранение и защиту;

10) работодатели, работники и их представители должны совместно вырабатывать меры защиты персональных данных работников.

Лица, виновные в нарушении норм, регулирующих получение, обработку и защиту персональных данных работника, привлекаются к дисциплинарной и материальной ответственности в порядке, установленном настоящим Кодексом и иными федеральными законами, а также привлекаются к гражданско-правовой, административной и уголовной ответственности в порядке, установленном федеральными законами.

Размер оклада может зависеть от разных факторов, ведь, кроме эксплуатирующего персонала на ДКС, есть и ряд других смежных профессий, а также большую роль играет регион по добыче и, естественно, чем суровее

условия и жизнь сотрудника в них, тем больше он зарабатывает и может рассчитывать на дополнительные финансовые надбавки.

Отдельные нормативные акты содержат положения о размере доплат за работу во вредных условиях труда. Так, постановлением Министерства труда РФ от 25 апреля 1995 года N 25 рекомендовано при оплате труда работников организации внебюджетной сферы экономики тарифные ставки (оклады) на работах с тяжелыми и вредными условиями труда увеличивать по сравнению с тарифными ставками (окладами) для аналогичных работ с нормальными условиями труда на 12%, а на работах с особо тяжелыми и особо вредными условиями труда — на 24%.

Компенсационные выплаты, связанные с режимом работы с условиями труда — выплаты, установленные в соответствии с инструкцией Госкомстата РФ "О составе фонда заработной платы и выплат социального характера" от 10 июля 1995 г. № 89 включают выплаты, связанные с районным регулированием заработной платы, доплаты за работу во вредных и опасных условиях труда и на тяжелых работах, оплату работы в выходные и праздничные дни, оплату сверхурочной работы, оплату работникам за дни отдыха (отгулы), предоставленные в связи с работой сверх нормальной продолжительности рабочего времени в случаях установленных тайны; законодательством, выплату разницы при временном замещении, компенсации за неиспользованный отпуск, оплату льготных часов подростков и т.д.

## **1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.**

Производственные объекты и помещения необходимо располагать с наветренной стороны (по розе ветров) по отношению к источнику возможного выделения сероводорода.

На территории промплощадок должны быть установлены хорошо видимые устройства для определения направления ветра (конус, флюгер и др.). В темное время устройства необходимо освещать. Число, типы и места установки этих устройств определяются проектом.

Производственные объекты, газоопасные места и прилегающая к ним территория (в том числе подъездные пути), а также трассы действующих газо-, нефте- и конденсатопроводов должны быть обеспечены необходимыми знаками безопасности и надписями.

Помещения для приготовления и приема пищи, отдыха свободной от работы вахты размещаются на расстоянии не менее 200 м от места проведения работ. Помещения компрессорных установок должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией, включаемой от датчиков на метан при достижении ПДК.

Так же на каждом помещении должна быть нанесена таблица с указанием взрывопожарной и пожарной опасности.

Таблица 13 - категории помещений взрывопожарной и пожарной опасности

<b>Категория помещения</b>	<b>Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении</b>
А повышенная взрывопожароопасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б взрывопожароопасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости которые могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1-В4 пожароопасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и пожароопасность материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только

	гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б
Г умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном умеренная состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, пожароопасность искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии пониженная

В помещениях с повышенным риском возникновения пожара устанавливаются средства первичного пожаротушения. Чаще всего это два типа огнетушителей: порошковый и пенный.

Порошковый огнетушитель – это огнетушитель, в качестве заряда которого используется огнетушащий порошок. Огнетушители, относящиеся по виду огнетушащего вещества к порошковым, заслуживают особого внимания, ввиду своей универсальности. Порошковые огнетушители имеют разный объем и разное назначение, используются для тушения пожаров в помещениях и на открытом воздухе, гасят в том числе загоревшееся электрооборудование.

Пенный огнетушитель применяется для тушения горячей древесины, ткани, горящих и тлеющих твердых материалов, а также ГСМ применяют пенный огнетушитель. Обозначается аббревиатурой ОВП – огнетушитель воздушно-пенный.

В качестве огнетушащего вещества используется вода с пенообразователем, заключенные в баллон под давлением в 1,5 МПа.

## **2. Профессиональная социальная безопасность.**

### **2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.**

Действие силы тяжести, когда оно может вызвать падение твердых объектов на работающего.

К источникам возникновения данного фактора относятся операции связанные с работой грузоподъемного механизма в ангаре. Например, обрыв

цепи, повреждение редуктора во время работы. Данный фактор может принести большой вред рабочему, возможно получение травмы различной степени тяжести, а также возможен летальный исход.

Для предотвращения несчастных случаях следует соблюдать правила техники безопасности при эксплуатации данного механизма.

При работе в ангаре следует соблюдать средства индивидуальной и коллективной защиты. Рабочий обязан быть в полном комплекте защиты, рабочая одежда, сделанная из огнеупорного материала, которая не пропускает электрические заряды, одеть в соответствии с погодными условиями, про резиновые перчатки, обувь с высоким голеноостопом и стальными вставками на передней стороне обуви, защитные очки и каска, защищающая от падения мелких предметов с высоты. Для минимизации воздействия данного фактора не следует находиться в тех места, в которых возможно падение объектов.

#### ***Повышение уровня общей вибрации.***

Источником вибрации в ангаре являются: компрессор и привод к нему, пульсации газа в сосудах. В частности, в компрессоре возникает вибрация по причине наличия динамики в таких деталях как: коленчатый вал, который совершает вращательное движение, имеет подшипниковые опоры и через них вибрация проходит на корпус, далее на раму компрессора и в помещение; шатуны, крейцкопфы, поршни, клапана, которые также совершают движения, имеют опоры и соответственно от них также действует вибрация. Воздействие вибрации на организм человека может привести к появлению вибрационной болезни, которая проявляется в нарушении работы сердечно-сосудистой и нервной систем, в поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций опорно-двигательного аппарата.

Воздействие локальной вибрации на организм человека приводит к головным болям, тошноте; оказывает воздействие на процесс кровообращения и нервные окончания. По ГОСТ 26568-85 к коллективным средствам защиты от вибрации относятся активные средства виброзащиты.

К индивидуальным средствам защиты от вибрации относятся специальные вибродемпфирующие перчатки, рукавицы, нагрудники, специальные костюмы, обувь [6].

### ***Повышение уровня шума.***

В зависимости от длительного и интенсивного воздействия шума происходит снижение чувствительности органов слуха, которое выражается временным смещением порога слышимости, исчезающим после прекращения воздействия шума. При большой интенсивности и длительности шума происходят такие необратимые потери слуха, как тугоухость, которая характеризуется постоянной изменой порога слышимости. Повышенный шум влияет на репродуктивную функцию человека, нервную и сердечно-сосудистую системы, вызывает нарушение сна, раздражение, агрессивность, утомление, способствует психическим заболеваниям.

Пагубное воздействие оказывает даже шум, не ощущаемый ухом человека (находящийся за пределами чувствительности его слухового аппарата): инфразвуки, к примеру, вызывают чувство тревоги, боли в ушах и позвоночнике, а при длительном воздействии сказываются на нарушении периферического кровообращения [7].

Также шум влияет на производительность труда. Увеличение уровня шума на 1-2 дБ приводит к снижению производительности труда на 1%.

По ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. «Общие требования безопасности» допустимый уровень шума на рабочем месте дожимной компрессорной станции 80 дБ. Однако при работе уровень шума может достигать 120 дБ.

Для снижения вредного воздействия шума на организм человека необходимо применение коллективных и индивидуальных средств защиты.

### **2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.**

Для предупреждения проявления чрезвычайных ситуаций необходимо соблюдать график технического обслуживания, текущего и капитального ремонта, для выполнения своевременной затяжки крепежных элементов,

проверки работы деталей и механизмов, проверки и замены различных уплотнений, замены масла в маслосистеме, проверке работоспособности различных контрольных датчиков.

При выполнении ремонтных работ необходимо освободить рабочие полости от продуктов, промыть, продуть инертным газом, отсечь входной и выходной патрубки для того, чтобы предотвратить возможность попадания продуктов из смежных полостей.

Необходимо проверять знания и компетентность рабочего персонала, обслуживающего агрегаты на ДКС.

### **3. Электробезопасность**

Опасность поражения электрическим током несут все электрические приборы, подключенные к сети. Это может произойти либо при повреждении изоляции токоведущих проводов или частей оборудования, либо при отсутствующем заземлении оборудования. Ток в теле человека оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое воздействие выражается в ожогах, нагреве и повреждении капилляров, сосудов и вен. Электролитическое воздействие выражается в разложении крови и нарушении её состава. Биологическое воздействие выражается в нервных судорогах и раздражении тканей.

Значения напряжений прикосновения и токов при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки согласно ГОСТ 12.1.038-82 имеют следующие значения (не более):

- 1) переменный ток 50 Гц: напряжение – 2 В, сила тока – 0,3 мА;
- 2) постоянный ток: напряжение – 8 В, сила тока – 1 мА.

Согласно ПУЭ, по классификации помещений и по опасности поражения людей электрическим током лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности, поскольку отсутствуют условия, которые бы создавали повышенную или особую опасность:

- 1) влажность воздуха не превышает 75%;
- 2) полы керамические нетокопроводящие;

3) отсутствие возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой;

4) напряжение менее 380В переменного и 440В постоянного тока.

Для исключения поражения электрическим током согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 [8] в качестве коллективных средств защиты необходимо применить усиленную изоляцию токоведущих частей электрооборудования.

#### 4. Экологическая безопасность.

Таблица 14 – Вредные воздействия на окружающую среду и природоохранные мероприятия при эксплуатации установки подготовки нефти.

Природные ресурсы и компоненты ОС	Вредные воздействия	Природоохранные мероприятия
Земля и земельные ресурсы	Загрязнение почвы нефтепродуктами	Отправление отходов на полигон ОАО «Полигон» г. Томск
	Засорение почвы производственными и бытовыми отходами	Отходы производства направляются на переработку и обезвреживание по договору со специализированными организациями. Бытовые отходы размещаются на полигоне ТБО
Вода и водные ресурсы	Загрязнение промышленными стоками	Подготовка промышленных стоков и дальнейшее использование в системе ППД
	Загрязнение бытовыми стоками	Созданы очистные сооружения для бытовых стоков (канализационные устройства, септики)
Воздушный бассейн	Выбросы вредных и токсичных веществ при сжигании нефтяного газа на факелах и продувке	Строительство газокompрессорной станции

	оборудования	
--	--------------	--

После проведения оценки воздействия производственной деятельности на окружающую среду согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 принимаем ориентировочный размер санитарно-защитной зоны.

Таблица 15 – Санитарная классификация предприятий и ориентировочные размеры нормативных санитарно-защитных зон

Класс	Вид производства
Класс I – санитарно-защитная зона 1000 м	Предприятия по добыче нефти при выбросе сероводорода от 0,5 до 1 т/сутки, а также с высоким содержанием летучих углеводородов

#### **4.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Компрессорная установка во время работы выделяет значительное количество тепла в окружающую среду, которое в свою очередь может вносить свой вклад в оттаивание грунтов и глобальное потепление, воздействие на обслуживающий персонал. Имеет место отработанное масло, которое необходимо утилизировать, но в большинстве случаев оно отправляется в окружающую среду, а именно выливается в почву. От данного фактора страдает флора и фауна, люди могут употреблять воду в близлежащих районах с составом, который был бы нежелателен для организма.

#### **4.2. Анализ «жизненного цикла» объекта исследования.**

В течение жизненного цикла установка может подвергаться негативному воздействию различных факторов (тепло, высокие напряжения сдвига, деформации, влага, УФ-излучение, коррозия и др.). В результате этого установка теряет свои технологические и эксплуатационные свойства, что обуславливает острую необходимость решения становящейся все более актуальной задачи – защиты агрегата от негативного влияния факторов окружающей среды на каждой стадии их жизненного цикла, чтобы в полной мере реализовать возможности её эффективного использования [2].

#### **4.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.**

Повторное использование отработанного масла.

Переработка отработанного масла позволяет получить ценное сырье, которое в дальнейшем может вполне успешно применяться при получении товарных масел и топлив, при производстве железобетонных изделий. После очистки масла до определенной степени им можно смазывать второстепенные узлы и агрегаты, обрабатывать различные металлические изделия с целью защиты от коррозии. Отработанное масло может использоваться в качестве добавки для битума при укладке автомобильных дорог. Используется: выпаривание; вакуумная перегонка; адсорбция; коагуляция.

### **5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.**

Существуют различные мероприятия по защите населения от ЧС. Это оповещение населения об опасности, его информирование о порядке действий в сложившихся чрезвычайных условиях; эвакуационные мероприятия; меры по инженерной защите населения; меры радиационной и химической защиты; медицинские мероприятия; подготовка населения в области защиты от чрезвычайных ситуаций.

Самым главным является оповещение населения об опасности. Ведь как скоро выяснится, где опасность, тем быстрее проинформируют население о надвигающейся угрозе. Также важным является в этом сообщении то, как передают порядок правильных действий в сложившейся ЧС. Важно избежать паники населения. Своевременное оповещение производится органами гражданской обороны. Оно организуется, главным образом, по радио и телевидению. К примеру, услышав сигналы «Внимание всем!», нужно включить теле- и радиоприемники и ждать сообщения от органов власти. После выполнять дальнейшие действия по их указаниям!

Особое место занимает индивидуальная защита. Для защиты органов дыхания изготавливают тканевые маски, ватно-марлевые повязки, а для защиты кожных покровов используют различные накидки, плащи, резиновую обувь, резиновые или кожаные перчатки. Средства индивидуальной защиты

обязательно должны присутствовать, как и на рабочем месте, так в домашних условиях.

Чрезвычайные ситуации классифицируются в зависимости от их характера, сферы возникновения, масштабов и размеров ущерба.

По характеру источников возникновения: природного; техногенного; экологического; биолого-социального характера.

### **5.1. Анализ вероятных ЧС природного характера**

ЧС природного характера возникают в результате разного рода возмущений в естественной среде обитания человека и подразделяются: на геолого-геофизические, гидрометеорологические, аэрометеорологические, биологические.

Геолого-геофизические источники ЧС возникают в результате возмущения внутри и на поверхности земной коры. К ним относятся: землетрясения, извержения вулканов, оползни, лавины, пыльные бури и т.п.

Гидрометеорологические источники ЧС формируются в гидросфере. Это, прежде всего, циклоны, цунами, штормы, наводнения и т.п.

Аэрометеорологические источники ЧС возникают вследствие возмущений в нижних слоях атмосферы. К ним относятся: ураганы, бури, смерчи, ливни, снегопады и т.п.

### **5.2 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.**

Техногенные чрезвычайные ситуации связаны с производственной деятельностью человека и могут протекать с загрязнением и без загрязнения окружающей среды. Наибольшую опасность в техногенной сфере представляют транспортные аварии, взрывы и пожары, радиационные аварии, аварии с выбросом аварийно химически опасных веществ и др.

Техногенная чрезвычайная ситуация – это состояние, при котором в результате возникновения источника техногенной чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью,

наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде. Различают техногенные чрезвычайные ситуации по месту их возникновения и по характеру основных поражающих факторов источника чрезвычайной ситуации.

Причиной возникновения техногенной чрезвычайной ситуации может быть опасное техногенное происшествие, в результате которого на объекте, определенной территории или акватории произошла техногенная чрезвычайная ситуация. К опасным техногенным происшествиям относят аварии на промышленных объектах или на транспорте, пожары, взрывы или высвобождение различных видов энергии.

### **5.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.**

В число предупредительных мероприятий могут быть включены мероприятия, направленные на устранение причин, которые могут вызвать пожар (взрыв), на ограничение (локализацию) распространения пожаров, создание условий для эвакуации людей и имущества при пожаре, своевременное обнаружение пожара и оповещение о нем, тушение пожара, поддержание сил ликвидации пожаров в постоянной готовности.

Соблюдение технологических режимов производства, содержание оборудования, особенно энергетических сетей, в исправном состоянии позволяет, в большинстве случаев, исключить причину возгорания. Своевременное обнаружение пожара может достигаться оснащением производственных и бытовых помещений системами автоматической пожарной сигнализации или, в отдельных случаях, с помощью организационных мер.

Первоначальное тушение пожара (до прибытия вызванных сил) успешно проводится на тех объектах, которые оснащены автоматическими установками тушения пожара [11].

При ликвидации последствий ЧС техногенного характера осуществляют следующие мероприятия:

- поиск пострадавших;

- определение масштабов, степени и характера повреждений зданий и сооружений;
- определение мест аварий на коммунально-энергетических и технологических сетях, угрожающих жизни пострадавших и затрудняющих проведение спасательных работ;
- отключение поврежденных участков магистральных и разводных коммунально-энергетических и технологических сетей;
- расчистка магистральных маршрутов движения;
- расчистка подъездных путей к объекту ведения работ;
- расчистка площадок для расстановки техники на объекте ведения работ;
- обрушение (укрепление) строительных конструкций зданий и сооружений, угрожающих обвалом или затрудняющих проведение спасательных работ;
- фиксация завалов от смещения;
- высвобождение пострадавших (погибших) из-под завалов;
- оказание пострадавшим первой медицинской помощи и врачебной помощи на месте;
- эвакуация пострадавших в стационарные лечебные учреждения;
- оборудование мест для свалки строительного мусора;
- регистрация погибших (или их захоронение).

## **6. Расчет системы воздухообмена**

В Приложении А приведен расчет системы искусственного воздухообмена для рабочей зоны (укрытие компрессорной установки), в рамках которой проводится исследовательская работа. Согласно объему помещения (4800 м<sup>3</sup>) был произведен расчет требуемого воздухообмена для проведения лакокрасочных выполняемых двумя машинистами ТК.

## **Вывод**

В данном разделе проведен анализ вредных факторов таких как повышенный уровень шума, повышенный уровень вибрации. Выявлены опасные факторы: повышенная температура маслосистемы, пожароопасность, наличие вращающихся механизмов. Эксплуатация компрессорной установки не приносит значительного вреда окружающей среде и обслуживающему персоналу при соблюдении регламентов и мер по технике безопасности. Все отходы и отработанные детали можно утилизировать и повторно использовать в других областях.

## **Заключение**

Исследование возможных причин поломок антипомпажных клапанов, привело к необходимости полного и комплексного исследования оборудования, для борьбы с помпажным явлением, а так же проблем связанных с эксплуатацией, возникающей при его работе.

В рамках выполненной магистерской диссертации было предложено решение по предотвращению повышенного содержания влаги в воздухе, для работы антипомпажного клапана. Обоснование выбранных решений, было главной задачей в данной работе. Поэтому, в целях получения требуемых результатов, касательно правильности выбранного решения, были применены как теоретические, так и графические методы исследования.

Внедрение предложенного решения, направленного на предотвращение причин повышения влажности воздуха, приводящего в движение антипомпажный клапан заблаговременно, приведет к увеличению его срока службы, сделает условия его работы оптимальными и благоприятными. Это обеспечит продолжительную работу клапана, избавит предприятие от внепланового ремонта, предотвратит остановки функционирования газоперекачивающих агрегатов, сохранит материалы, силы и средства, тем самым повысит экономическую эффективность, а также позволит минимизировать возникновение аварийных ситуаций.

В дальнейшем необходимо проделать эксперименты для того, чтобы найти применение данного решения в реальной работе клапана, а так же выяснить насколько будет оптимизирована работа клапана, увеличен его ресурс и повышена надежность.

Кроме того, предложенные решения могут стать толчком к началу принятия действий по сохранению долговечности агрегата, увеличения его ресурса и созданию дополнительных приборов или устройств, которые будут служить средством оповещения о нарушении конструктивных особенностей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Попов М. В. Исследование помпажа в центробежных компрессорах / М. В. Попов; науч. рук. С. С. Васенин // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина, Томск, 3-7 апреля 2017 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — Т. 2. — [С. 652-653].
2. Окружающая среда - Данные о выбросах, связанных с энергетикой, и анализ окружающей среды. Независимая статистика и анализ. <http://www.eia.doe.gov/environment.html> . 03.06.2022.
3. Футин В.А. Определение переменных аэродинамических нагрузок и динамических напряжений, действующих на рабочее колесо центробежного компрессора: диссертация кандидата технических наук. Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, Казань, 2006.
4. Кислород [Текст]: Справочник / Под ред. канд. техн. наук Д. Л. Глизманенко. - Москва: Металлургия. Т. 1, ч. 1. - 1967. - 422 с.
5. Справочник машиниста насосных и компрессорных установок. Серебренников В.В., Быков В.В. – Издательство «ТЕХНИКА», Киев, 1970. - 236 с.
6. М.Б. Хадиев, Механизм помпажа в центробежных компрессорах/ М.Б. Хадиев, Н.Х. Зиннатуллин, И.М. Нафиков. – Т. 1. – 2014. – 262-266 с.
7. Е.В. Пугачёв, Исследование воздействия помпажа турбокомпрессора на энергетические характеристики приводного двигателя/ Е.В. Пугачёв, М.В. Кипервассер, А.В. Герасимчук. Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, 2015. – 84-90 с.
8. Захаров К. С. Технологические особенности процесса антипомпажного регулирования на Заполярном нефтегазоконденсатном месторождении (ЯНАО) : бакалаврская работа / К. С. Захаров ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа природных

ресурсов (ИШПР), Отделение нефтегазового дела (ОНД) ; науч. рук. Т. С. Глызина. — Томск, 2020.

9. Попов М. В. Антипомпажное регулирование производительности в центробежных компрессорах / М. В. Попов; науч. рук. Л. А. Саруев // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина, Томск, 8-12 апреля 2019 г.: в 2 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2019. — Т. 2. — [С. 509-511].

10. Компрессор САС [Электронный ресурс] / Помпаж компрессоров: причины и следствия — Режим доступа: <http://www.blowers.ru/pages/services/pompaj>, свободный. — Дата обращения 05.03.2022 г.

11. Emerson exchange 365 [Электронный ресурс] / статья: Что такое помпаж компрессора? — Режим доступа: <https://emersonexchange365.com/worlds/russia/b/weblog/posts/compressor-surge>, свободный. — Дата обращения 07.03.2022 г.

12. Разработки нефтегазовая промышленность [Электронный ресурс] / Ярослав Евдокимов. Регулирование ГПА: возникающие проблемы и пути их решения, 2009 — Режим доступа: <https://docplayer.ru/45313-Regulirovanie-gra-voznikayushchie-problemy-i-puti-ih-resheniya.html>, свободный. — Дата обращения 07.03.2022 г.

13. Compressor controls corporation [Электронный ресурс] / Совместные системы автоматического регулирования турбокомпрессорных агрегатов, 2011 — Режим доступа: [http://accontrols.ru/files/upload/page/406/Sistemy\\_avtomaticheskogo\\_regulirovaniya\\_SAR\\_turbokompressornyh\\_agregatov.pdf](http://accontrols.ru/files/upload/page/406/Sistemy_avtomaticheskogo_regulirovaniya_SAR_turbokompressornyh_agregatov.pdf), свободный. — Дата обращения 08.03.2022 г.

14. [Электронный ресурс] / Ницета В.В. Антипомпажное регулирование и защита / Ницета В.В., Овчинников В.П. Трифонов М.Г., Таргонский В.О. —

журнал: Нафтогазова промисловість – Режим доступа: [http://masters.donntu.org/2008/fema/brizhitskaya/library/konf\\_7.html](http://masters.donntu.org/2008/fema/brizhitskaya/library/konf_7.html), свободный. – Дата обращения 09.03.2022 г.

15. Михайлов, Д.Я. Расчёт предпомпажных состояний газотурбинной установки / Д. Я. Михайлов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2009. — № 2 (2). — С. 18-22. — Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/2/136/>, свободный 2022. – Дата обращения: 09.03.2022 г.

16. Neftegaz.RU [Электронный ресурс] / новостная статья: Газпром добыча Ямбург, дочка Газпрома, ввела в эксплуатацию дожимную компрессорную станцию (ДКС) на Заполярном месторождении; Е. Алифирова – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/dobycha/196023-na-zapolyarnom-mestorozhdenii-vvedena-v-ekspluatatsiyu-dozhimmnaya-kompressornaya-stantsiya-na-senoma/>, свободный. – Дата обращения 14.03.2022 г.

17. [Электронный ресурс] / Газоперекачивающий агрегат – Режим доступа: <https://stavropol-tr.gazprom.ru/press/proekt-azbuka-proizvodstva/gazoperekachivayushchij-agregat/>, свободный. – Дата обращения 25.04.2020г.

18. Авторский надзор за выполнением проектных решений по разработке сеноманских газовых залежей Ямбургского НГКМ и Заполярного НГКМ. Этап 2 – Анализ текущего состояния разработки сеноманской залежи Заполярного НГКМ по состоянию на 01.01.2018. технологические показатели разработки сеноманской залежи ЗНГКМ: Отчет о НИР / ТФ ООО «Газпром проектирование»; Руководитель Немков А.В. – Тюмень, 2018.

19. Технологический проект разработки Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения: Отчет о НИР / ООО «ТюменьНИИгипрогаз»; Отв. исполн. Красовский А.В. – Тюмень, 2013.

20. Дополнение к проекту разработки сеноманской газовой залежи Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения: Отчет о НИР / ООО «ТюменьНИИгипрогаз»; Отв. исполн. Лапердин А.Н. – Тюмень, 2009.

21. Актуализация технологических показателей разработки сеноманской залежи Заполярного месторождения: Отчет о НИР / ТФ ООО «Газпром проектирование»; Руководитель Немков А.В. – Тюмень, 2018
22. Свентский С.Ю. Комплексное проектирование геолого-технологических систем добычи газа крупных месторождений: диссертация кандидата технических наук: 25.00.17 / Свентский Сергей Юрьевич; [Место защиты: Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т]. - Тюмень, 2016. - 135 с.: ил.
23. СТО Газпром 2-3.5-113-2007 Методика оценки энергоэффективности газотранспортных объектов и систем. – Москва, 2007
24. Методические указания ОАО "Газпром" ПР 51-31323949-43-99 Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов
25. СТО Газпром 2-3.5-051-2006 Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов. – Москва, 2006.
26. Mokveld [Электронный ресурс] / Надежные регулирующие антипомпажные клапаны быстрого действия – Режим доступа: <https://mokveld.com/ru/page/337>, свободный. – Дата обращения 18.04.2022 г.
27. Mokveld [Электронный ресурс] / Регулирующий клапан осевого типа – Режим доступа: <https://mokveld.com/ru/page/166>, свободный. – Дата обращения 18.04.2022 г.
28. Mokveld [Электронный ресурс] / статья: Регулирующий клапан осевого типа. Конструкция со спрямленным течением среды, отвечающая высоким требованиям – Режим доступа: <http://www.mokveldm.ru/attachments/article/10/1-2.pdf>, свободный. – Дата обращения 18.04.2022 г.
29. [Электронный ресурс] / Конструкция антипомпажного клапана – Режим доступа: <https://helpiks.org/6-83638.html>, свободный. – Дата обращения 20.04.2022 г.
30. [Электронный ресурс] / Регулирующий клапан фирмы “Mokveld Valves” – Режим доступа: <https://studepedia.org/index.php?vol=2&post=57647>, свободный. – Дата обращения 25.04.2022 г.

31. ГЭСН 81-02-25-2017. Государственные элементные сметные нормы на строительные и специальные строительные работы. Сборник 25. Магистральные и промышленные трубопроводы. – М.: Госстрой, 2017. – 248с.
32. ФНП N 101. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности (с изменениями на 12 января 2015 года), 2013. – 112с.
- 31 P. K. Veldandi, V. Ramesh Kumar, C. Sailu Anti surge control design for variable speed compressor using dynamic simulation // International Journal of Applied Engineering Research. - 2017. - Vol. 12, No. Special Issue 1. - P. 636-640
- 32 C. J. Backi, J. T. Gravdahl, S. Skogestad Robust control of a two-state Greitzer compressor model by state-feedback linearization // presented at the "2016 IEEE Conference on Control Applications, CCA 2016" 2016. P. 1226-1231.
- 33 M. A. Asadzadeh, F. Shabani Centrifugal compressor active surge controller design based on fuzzy type II // presented at the "2nd IEEE Texas Power and Energy Conference, TPEC 2018" 2018. Vol. 2018-February P. 1-6.
- 34 A. Garcia-Hernandez, A. Alvarado Centrifugal compressors transient surge analysis: When do you need a hot gas bypass line? // presented at the "Pipeline Simulation Interest Group Annual Meeting, PSIG 2018" 2018.
- 35 M. Doenni, L. Grutesen Design optimization of anti surge control valves on turbocompressors // presented at the "Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, ADIPEC 2016" 2016. Vol. 2016-January.
- 36 B. Taylor RBI Centrifugal Compressors // Presentation of the API Spring Refining meeting. - Denver, USA: Dresser-Rand, 2009.

**1. Определение воздухообмена при испарении растворителей и лаков**

Испарение растворителей и лаков обычно происходит при покраске различных изделий. Количество летучих растворителей, выделяющихся в воздухе помещений можно определить по следующей формуле:

$$G = \frac{aAmn}{100}, \text{ г/ч,}$$

где  $a, \text{ м}^2/\text{ч}$  – средняя производительность по покраске одного рабочего (при ручной покраске кистью –  $12 \text{ м}^2/\text{ч}$ , пульверизатором –  $50 \text{ м}^2/\text{ч}$ );  $A, \text{ г/ м}^2$  – расход лакокрасочных материалов;  $m, \%$  – процент летучих растворителей, содержащихся в лакокрасочных материалах;  $n$  – число рабочих, одновременно занятых на покраске. Численные значения величин  $A$  и  $m$  определяются по таблице 16.

Таблица 17 - Расходы лакокрасочных материалов на один слой покрытия изделий и содержание в них летучих растворителей

Наименование лакокрасочных материалов/способ нанесения краски	Расход лакокрасочных материалов, $A, \text{ г/м}^2$	Содержание летучей части, $m, \%$
<b>Нитролаки и краски</b>		
Бесцветный аэролак /кистью	200	92
Цветные аэролаки/распыление пульверизатором	180	75
Нитрошпаклевка /кистью	100-180	10-35
Нитроклей /кистью	160	80+85
<b>Масляные лаки и эмали</b>		
Окраска распылением	60-90	35

В помещении работают 2 человека. По таблице для цветного аэролака при окраске распылением находим, что  $A = 180 \text{ г/м}^2$ ,  $m = 75 \%$ , тогда  $G = 50 \cdot 180 \cdot 75 \cdot 2 / 100 = 13500 \text{ г/ч}$ .

Далее определяем потребный воздухообмен в помещении. Находим для ацетона, что  $x_v = 200 \text{ мг/м}^3$ ,  $x_n = 0,35 \text{ мг/м}^3$ , тогда  $L = 13500 \cdot 1000 / (200 - 0,35) = 67500 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Определяем количество аэрозолей свинца, выделяемых в воздух:  $G = 0,6 \cdot 0,001 \cdot 10 \cdot 100 \cdot 3 = 1,8 \text{ мг/ч}$ . Далее определяем потребный воздухообмен. Находим из таблиц для свинца и его соединений  $x_v = 0,01 \text{ мг/м}^3$ ;  $x_n = 0,001 \text{ мг/м}^3$ . Тогда  $L = 1,8 / (0,01 - 0,001) = 200,0 \text{ м}^3/\text{ч}$

Определяем количество  $\text{CO}_2$ , выделяемой одним человеком  $g = 68 \text{ г/ч}$ . Тогда  $x_v = 9000 \text{ мг/м}^3$  и содержание  $\text{CO}_2$  в наружном воздухе для больших городов  $x_n = 1000 \text{ мг/м}^3$ . Определяем потребный воздухообмен:  $L = 68 \cdot 2 \cdot 1000 / (9000 - 1000) = 17 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

$L = 67500 + 17 + 200 = 67717 \text{ м}^3/\text{ч}$ .  $V = 4800 \text{ м}^3$ . Отсюда  $n > 10$ . Нужна установка местной вентиляции.

$$L_{\text{МВ}} = 3600 \cdot 6 \cdot 1 = 21600 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$\text{Проверка: } 46117 / 4800 = 9,6 \text{ ч}^{-1}.$$

С помощью установки местной вентиляции удалось добиться нужных требований по кратности воздухообмена.

## **2. Определение воздухообмена в жилых и общественных помещениях.**

В помещении работают 3 человека.

Взрослый человек во время работы выделяет  $\text{CO}_2$   $g = 68 \text{ г/ч}$ . Тогда  $x_v = 9000 \text{ мг/м}^3$  и содержание  $\text{CO}_2$  в наружном воздухе для больших городов  $x_n = 1000 \text{ мг/м}^3$ . Определяем потребный воздухообмен:  $L = 68 \cdot 3 \cdot 1000 / (9000 - 1000) = 25,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

**Research and substantiation of an effective way to regulate the performance of centrifugal compressors in the conditions of the Far North.**

**Студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Кротов Евгений Владимирович		

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Профессор	Саруев Лев Алексеевич	д.т.н	

**Консультант-лингвист отделения иностранных языков**

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Профессор	Матвеевко Ирина Алексеевна		

## **Experimental part**

In the experimental part of the master's work a device for local moisture removal will be considered, which is installed on the air supply line to the pneumatic anti-fog valve. The device is designed to improve the reliability of the anti-pneumatic valve.

In the Far North a very important aspect of all equipment is its reliability. Based on the specific natural factors of these regions, air is the basis used for the functioning of oil and gas production.

In order to supply compressed air to field consumers, preparation stations are provided, where technological solutions provide the following operations:

- production of compressed air, with the pressure required by the consumer;
- compressed air cleaning and drying up to impurity class 1 or 2, in accordance with GOST 17433-80 as to composition and content of foreign admixtures;
- storage and regulation of prepared compressed air.

In particular, compressed air is used as the working body for pneumatic actuators of shut-off and control valves.

Such valves include both regulating valves and pneumatic anti-surge valves.

During seasonal temperature changes entailing repeated cycles of freezing and thawing, leaks can form at the connection points between the consumer and the air treatment station. Moisture can penetrate and accumulate through these leaks into the compressed air system and condense in pneumatic actuators of shut-off and control valves. Moisture from freezing makes it difficult or completely paralyzes the function of the pneumo valve valves. Such a set of circumstances can lead to an emergency situation and, as a consequence, the threat to human life.

It is especially important that moisture does not get into the pneumatic actuator of the anti-surge valve, because this valve protects the compressor from the surge phenomenon, dangerous for the blades of the centrifugal compressor. The speed of operation is important for the anti-surge valve, the faster the valve is

actuated, the less stress the compressor will experience and, as a consequence, the longer its service life will be.

To eliminate the adverse effects described above, a device for local moisture removal in front of the anti-pump valve, which is installed on the compressed air pneumowire, is proposed.

The device is based on the proven technology of moisture removal by adsorption. Silica gel is used as the adsorbent. The advantage of silica gel is that it is cheap and has the ability to accumulate moisture up to 70% of its own weight (GOST 3956-76).

The design of the device (figure - 1) includes a tangential deflector (1) at the inlet, which serves to direct the flow of compressed air along the forming surface of the cylindrical body. In this direction, the air becomes rotational in nature, and centrifugal and inertial forces begin to act on its particles. At the same time, the moisture present in the air is thrown to the periphery of the local moisture removal device, where it further flows down into the liquid collector (3). There is a discrete sensor (5) in the liquid collector, which shows the level of moisture. Data from the sensor is transmitted to the field operator's room.

A similar tangential deflector is used on gas separator filters, the only difference is in size and working pressure of the unit.

After the diverter the air passes through the bulb filled with silica gel, where it is additionally dried and goes to the inlet of the pneumatic valve armature.

To replace the silica gel, the bulb (2) is connected to a blind flange (4), which when unscrewed pulls the bulb behind it. The flange and bulb are connected by a thread.

All flange connections are selected from the standard ones presented in GOST 33259-2015.

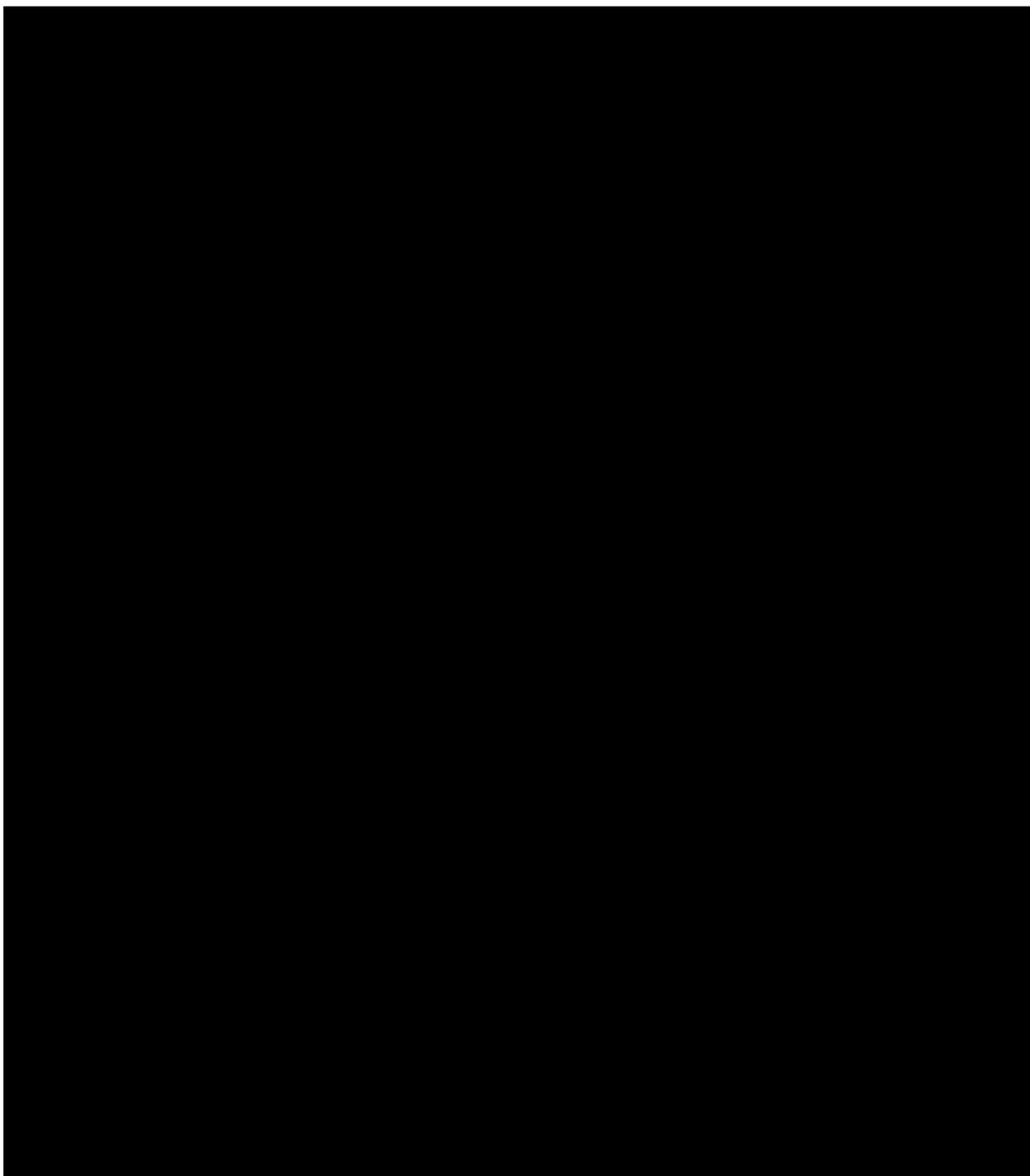


Figure 1 - Local moisture removal device, general view

In order to operate the device in winter time, it is necessary to connect the heat-satellite lines to it. Hot water from the boiler room is used as the heating medium for heating the tank.

Thermal insulation is made with mats mineral wool piercing according to GOST 21880-2011.

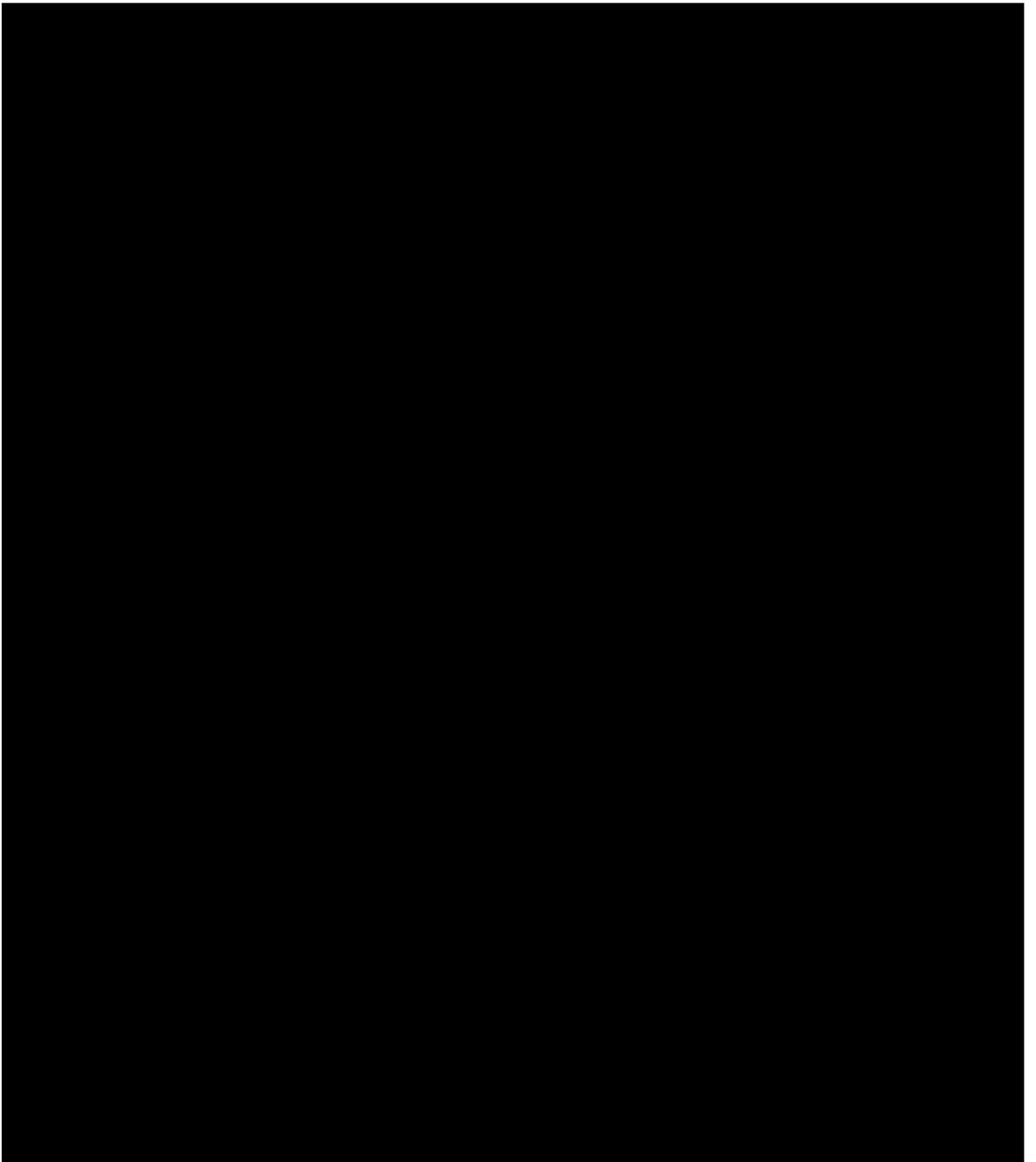


Figure 2 - main dimensions of the device

Dimensions of the device: height 380 mm, width (at the edges of the flanges) 282 mm, length 180 mm. The volume of the silica gel cassette is 955cm<sup>3</sup>. This volume allows 700 grams of silica gel to be contained. Taking these data and data from GOST 3956-76, we receive that the quantity of silica gel that can absorb 70 % of its own weight, i.e. about 500 ml of liquid.

The wall thickness of the shell is 3.8 mm. This thickness is formed by three basic values:

- The basic thickness of the shell;
- Corrosion allowance;
- The minus tolerance allowance (this is the value of the limit deviation for the thickness of the sheet).

This wall thickness is capable of withstanding a pressure of 2.59 MPa. The working pressure for the vessel is 1.2 MPa, which means that if the pressure developed by the air preparation station is lower than the pressure capable of withstanding the vessel, the installation of safety devices is not required.

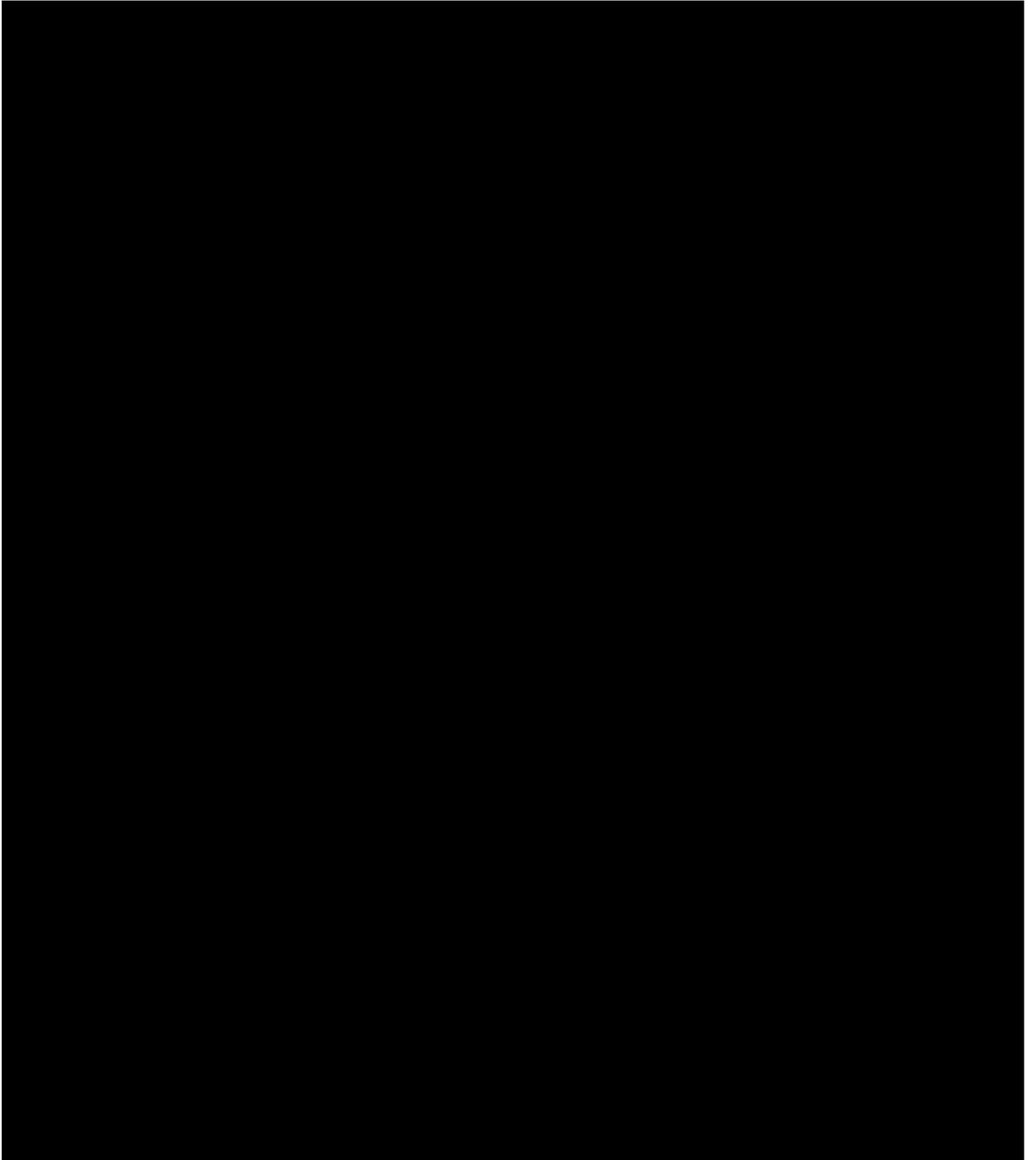


Figure 3 - Pressure distribution inside the shell.

Steel for the shell is selected as 09G2S. Low-alloy structural steel is used for parts and elements of welded steel structures operating at temperatures from  $-70^{\circ}\text{C}$  to  $425^{\circ}\text{C}$  under pressure. Welding of such steel can be carried out by any method without any restrictions: manual arc, submerged-arc argon arc welding in shielding and contact welding.

All flange connections are selected from the standard ones presented in GOST 33259-2015.

Figure 3 shows that the design provides slots to equalize the pressure in the blue and red areas. This is done so that the pressure from the source would act on the shell throughout its inner cavity.

## Cylindrical shell

Calculation of strength according to GOST 14249-89

Calculation is made by Mathcad software package

Element: smooth cylindrical shell, working under the action of internal pressure - axial compressive force - bending moment.

### *Initial data*

Shell material	Steel	09Г2С	
Design temperature	T	20	°C
Design pressure	P	1.2	MPa
Design thrust	F	$5.568 \cdot 10^3$	H
Calculation bending moment	M	$6.456 \cdot 10^4$	H*MM
Calculation shear force	Q	1945	H
Shell Inner Diameter	D	180	Mm
Shell Design Length	L	380	Mm
Shell wall thickness	S	3	Mm
Corrosion allowance	C <sub>1</sub>	1	Mm
Minus tolerance allowance	C <sub>2</sub>	0.8	Mm
Process allowance	C <sub>3</sub>	0	Mm
Strength factor of longitudinal weld	φ	1	
Allowable stress	[σ]	196	MPa
Modulus of elasticity	E	$6.456 \cdot 10^4$	MPa

### *Calculation results*

Minimum design wall thickness of the shell from the action of pressure:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{(2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi) - P} = \frac{1.2 \cdot 180}{(2 \cdot 196 \cdot 1) - 1.2} = 0.55 \text{ MM}$$

The minimum design thickness of the shell wall from the action of pressure, taking into account the addition:

$$S \geq S_p + C_1 + C_2 = 0.55 + 1 + 0.8 = 2.35 \text{ MM}$$

The wall thickness is taken to be 3.4 mm.

Permissible internal pressure:

$$p_0 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 196 \cdot 1 \cdot (3.4 - 1.8)}{180 + (3.4 - 1.8)} = 2,59 \text{ МПа}$$

C - is the sum of all additions.

Permissible axial compressive force from the condition of local stability within elasticity:

$$F_{E1} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D^2}{n_y} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (S - C)}{D} \right]^{-2.5} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot 6,456 \cdot 10^4 \cdot 180^2}{2,4} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (3.4 - 1,8)}{180} \right]^{-2.5} \\ = 3,022 \cdot 10^5 H$$

Where  $n_y$  is the stability margin;

Permissible axial compressive force from the condition of stability within elasticity:

$$F_E = F_{E1} = 3,022 \cdot 10^5 H$$

Permissible axial compressive force from the strength condition:

$$F_{II} = \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot [\sigma] = 3.14 \cdot (180 + 3.4 - 1.8) \cdot (3.4 - 1.8) \cdot 196 = 1.339 \cdot 10^5 H$$

Permissible axial compressive force:

$$F_0 = \frac{F_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{II}}{F_E}\right)^2}} = \frac{1.339 \cdot 10^5}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.339 \cdot 10^5}{3.022 \cdot 10^5}\right)^2}} = 1.224 \cdot 10^5 H$$

Permissible bending moment from stability conditions within elasticity:

$$M_E = \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D^3}{n_y} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (S - C)}{D} \right]^{-2.5} = \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot 6,456 \cdot 10^4 \cdot 180^3}{2,4} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (3.4 - 1,8)}{180} \right]^{-2.5} \\ = 1.562 \cdot 10^7 H$$

Permissible bending moment from strength conditions:

$$M_{II} = \frac{\pi \cdot D \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot [\sigma]}{4} = \frac{3.14 \cdot 180 \cdot (180 + 3.4 - 1.8) \cdot (3.4 - 1.8) \cdot 196}{4} = 6.025 \cdot 10^6 H$$

Permissible bending moment:

$$M_0 = \frac{M_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{II}}{M_E}\right)^2}} = \frac{6.025 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{6.025 \cdot 10^6}{1.562 \cdot 10^7}\right)^2}} = 5.621 \cdot 10^6 H \cdot \text{мм}$$

Permissible shear force from stability conditions within elastic limits:

$$Q_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (S - C)^2}{n_y} \cdot \left[ 0.18 + 3.3 \cdot \frac{D \cdot (S - C)}{L^2} \right] = \frac{2.4 \cdot 6.456 \cdot 10^4 \cdot (3.4 - 1.8)^2}{2.4} \cdot \left[ 0.18 + 3.3 \cdot \frac{180 \cdot (3.4 - 1.8)}{380^2} \right] = 5.3 \cdot 10^4 H$$

Permissible shear force from the condition of strength:

$$Q_{II} = \frac{\pi \cdot D \cdot (S - C) \cdot [\sigma]}{4} = \frac{3.14 \cdot 180 \cdot (3.4 - 1.8) \cdot 196}{4} = 3.325 \cdot 10^4 H$$

Permissible shear force:

$$Q_0 = \frac{Q_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_{II}}{Q_E}\right)^2}} = \frac{3.325 \cdot 10^4}{\sqrt{1 + \left(\frac{3.325 \cdot 10^4}{5.3 \cdot 10^4}\right)^2}} = 2.817 \cdot 10^4 H$$

Stability condition:

$$\frac{F}{F_0} + \frac{M}{M_0} + \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^2 + \frac{P}{P_0} = 0.524 < 1$$

From the last condition we see that the result is less than one. This means that the shell meets the strength and stability conditions in accordance with the requirements of GOST 14249-89.