

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**  
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**  
 Направление подготовки **18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Проект основного оборудования узла приема и подготовки попутного нефтяного газа</b>

УДК 665.612.2.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<b>4КМ81</b>	Ильинский Николай Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан Владимир Вилорьевич	Д.Х.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук Ирина Владимировна	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов Игорь Иванович	К.Т.Н.		

Консультант по разделу «Механический расчет оборудования»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	К.Т.Н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения по ООП 18.04.02 выпуска 2020 г.

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»
P2	Осуществлять управление проектом на всех этапах его жизненного цикла	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 28.004 «Инженер-проектировщик установок для утилизации и обезвреживания медицинских и биологических отходов»
P3	Организовывать и руководить работой команды, вырабатывать командную стратегию для достижения цели	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»,
P4	Применять современные коммуникативные технологии в том числе на иностранном языке (-ах) для академического и профессионального взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P5	Проводить анализ и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P6	Определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности, разрабатывать способы ее совершенствования на основе самооценки	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P7	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств, представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО, СУОС, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 28.004 - «Инженер-проектировщик установок для утилизации и обезвреживания медицинских и биологических отходов», 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»
P8	Проводить все стадии проектирования с использованием компьютерного 3-х мерного моделирования, коммерческих симуляторов и пакетов прикладных программ, в	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 19.002 - «Специалист по

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	<p>области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств, представлять и защищать результаты</p>	<p>химической переработке нефти и газа», 19.003 - «Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования»</p>
Р9	<p>Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i>. Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>, требования профессиональных стандартов: 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам », 19.00- «Специалист по химической переработке нефти и газа», 19.003 «Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования», 19.008 «Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли»</p>

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

**Школа Инженерная школа новых производственных технологий**  
**Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**  
**Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Беляев В.М.  
 (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
4KM81	Ильинскому Николаю Евгеньевичу

Тема работы:

Проект основного оборудования узла приема и подготовки попутного нефтяного газа

Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.03.2020 №62-11/С
---	---------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

#### **Исходные данные к работе**

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

Узел подготовки попутного нефтяного газа, в состав которого входят фильтр газовый и газовый вертикальный сепаратор. Объем газа, проходящий через аппараты, составляет 216000 м<sup>3</sup>/сут.

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

*(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).*

- Реферат
- Введение
1. Литературный обзор
  2. Описание технологической схемы
  3. Технологический и механический расчет газового сепаратора
  4. Технологический и механический расчет газового фильтра
  5. Механо-технологический раздел (монтаж оборудования).
  6. Автоматизация и контроль производства
  7. Социальная ответственность
  8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
  9. Раздел выполненный на иностранном языке
- Заключение
- Список литературы
- Приложение

**Перечень графического материала**

*(с точным указанием обязательных чертежей)*

- Технологическая схема 1 лист.
- Вертикальный газовый сепаратор. Чертеж общего вида 2 листа.
- Фильтр-сепаратор газовый. Чертеж общего вида 2 листа.
- Экономические показатели 1 лист.

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Владимировна
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Конструктивно-механический раздел	Беляев Василий Михайлович

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**


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

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

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан Владимир Вилорьевич	Д.Х.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ81	Ильинский Николай Евгеньевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ81	Ильинскому Николаю Евгеньевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

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

<i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
<i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
<i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
<i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

**Перечень графического материала**

Оценка конкурентоспособности ИР  
Матрица SWOT  
Диаграмма Ганта  
Бюджет НИ  
Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ81	Ильинский Николай Евгеньевич		



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4KM81	Ильинскому Николаю Евгеньевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Н.М. Кижнера
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Тема ВКР:

<b>Проект основного оборудования узла приема и подготовки попутного нефтяного газа</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><i>Объект исследования – газовый сепаратор узла приема и подготовки попутного нефтяного газа «Шингинской ГТЭС»</i></p> <p><i>Рабочая зона – площадка обслуживания газового сепаратора, находится на открытом пространстве, с естественным освещением, работы по ремонту и обслуживанию проводятся только в светлое время суток.</i></p> <p><i>Область применения – нефтехимическая промышленность.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	"Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014)

	<p>ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ</p> <p>ГОСТ 12.2.002-84</p> <p>ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ</p> <p>ГОСТ 12.1.003-2014</p> <p>ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ</p> <p>ГОСТ 12.1.007-76</p> <p>ГОСТ 12.4.299-2015</p> <p>ГОСТ Р 55709-2013</p> <p>ГОСТ Р 55710-2013</p> <p>ГОСТ 12.1.005-2018</p> <p>ГОСТ 12.1.009-2017</p> <p>ГОСТ Р 12.3.050-2017</p> <p>ГОСТ 12.4.124-83</p> <p>ГОСТ 12.2.085-2017</p> <p>Конституция РФ</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>2.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности</p> <p>2.1.1 Повышенный уровень вибрации</p> <p>2.1.2 Повышенный уровень шума</p> <p>2.1.3 Требования техники безопасности при работе с вредными веществами</p> <p>2.1.4 Климат рабочей зоны</p> <p>2.1.5 Освещение рабочей зоны</p> <p>2.2 Анализ опасных выявленных факторов при эксплуатации проектируемой ректификационной колонны</p> <p>2.2.1 Электрический ток</p> <p>2.2.2 Избыточное давление внутри аппарата</p> <p>2.2.3 Статическое эл-во</p> <p>2.2.4 Работы на высоте</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>3.1 Защита гидросферы и литосферы</p> <p>3.2 Защита атмосферы</p> <p>3.3 Утилизация ТБО</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>4.1 Пожарная и взрывная безопасность</p> <p>4.2 Действия работников при возникновении аварий и аварийных ситуаций</p> <p>Наиболее типичная ЧС – возникновение пожара. Рассмотреть профилактические мероприятия, требования безопасности и меры по ликвидации последствий.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

02.03.2020

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ81	Ильинский Николай Евгеньевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 176 с., 27 рис., 30 табл., 41 источник, 1 приложение.

СЕПАРАЦИЯ, ПОПУТНЫЙ НЕФТЯНОЙ ГАЗ, ГАЗОВЫЙ СЕПАРАТОР, ФИЛЬТР-СЕПАРАТОР, ФЛАНЦЕВОЕ СОЕДИНЕНИЕ.

Объектом исследования является узел приема и очистки попутного нефтяного газа.

Цель работы – разработка основного оборудования узла приема и очистки попутного нефтяного газа.

В процессе исследования проводились: технологический расчет, в ходе которого были определены основные геометрические размеры аппаратов, конструктивный расчет, с помощью которого были рассчитаны и подобраны патрубки, и механический расчет, в ходе которого были произведены расчеты на прочность, расчет укрепления отверстий, фланцевых соединений, веса аппарата и расчет и подбор опор.

В результате исследования были спроектированы вертикальный газовый сепаратор и газовый фильтр-сепаратор.

Степень внедрения: оборудование внедрено и работает на ГТЭС «Шингинская», на «Шингинском» месторождении.

Область применения: нефтяная и газовая промышленность.

## **Abstract**

The final qualification work contains 176 pp., 27 fig., 30 tab., 41 sources, 1 appendice.

SEPARATION, ASSOCIATED OIL GAS, GAS SEPARATOR, FILTER SEPARATOR, FLANGE CONNECTION.

The object of study is the unit for receiving and purifying associated petroleum gas.

The purpose of the work is the development of the main equipment of the unit for receiving and purifying associated petroleum gas.

During the study, the following was carried out: a technological calculation, during which the basic geometric dimensions of the apparatus were determined, a structural calculation, with which the nozzles were calculated and selected, and a mechanical calculation, during which strength calculations were made, calculation of the strengthening of holes, flange joints, apparatus weights and calculation and selection of supports.

As a result of the study, a vertical gas separator and a gas filter separator were designed.

Degree of implementation: the equipment has been implemented and works at the Shinginskaya GTES, at the Shinginskoye field.

Scope: oil and gas industry.

Оглавление	
Реферат .....	12
Abstract .....	13
Введение.....	19
1. Обзор литературы .....	21
2. Описание технологической схемы .....	25
3. Расчет газового сепаратора .....	29
3.1 Технологический расчет .....	29
3.1.1 Расчет и подбор патрубков .....	30
3.1.2 Выбор конструктивного материала.....	31
3.2 Механический расчет .....	32
3.2.1 Расчетные параметры .....	32
3.2.2 Расчет толщины стенок .....	33
3.2.3 Расчет укрепления отверстий .....	37
3.2.4 Расчет фланцевого соединения.....	40
3.2.5 Расчет веса аппарата .....	47
3.2.6 Расчет и подбор опор .....	48
4. Расчет газового фильтра – сепаратора.....	50
4.1 Гидравлический расчет .....	50
4.1.1 Расчет и подбор патрубков.....	51
4.1.2 Расчетные параметры.....	52
.....	52
4.2 Расчет толщины стенок.....	53
4.3 Расчет укрепления отверстий.....	56
4.4 Расчет фланцевого соединения .....	60
4.5 Расчет веса аппарата.....	71

5. Разработка методики защиты от превышения давления для газового сепаратора .....	75
5.1 Обоснование актуальности выбранной темы .....	75
5.2 Характеристика современного состояния проблемы .....	76
5.3 Защита от превышения давления.....	77
5.4 Разработка методики расчета предохранительного клапана в среде MathCAD .....	78
Резюме по итогам расчетов оборудования .....	85
6 Автоматизированная система узла сепаратора.....	86
6.1 Задачи и цели АСУ ТП .....	86
6.2 Назначение системы .....	87
6.3 Требования к техническому обеспечению .....	87
6.4 Требования к метрологическому обеспечению .....	88
6.5 Требования к программному обеспечению.....	88
6.6 Требования к информационному обеспечению.....	89
6.7 Основная часть .....	91
6.7.1 Описание технологического процесса.....	91
6.7.2 Разработка структурной схемы АС .....	91
6.7.3 Функциональная схема автоматизации .....	94
6.7.4 Разработка схемы информационных потоков.....	95
6.7.5 Выбор программно-технических средств АС .....	99
6.7.5.1 Выбор датчиков.....	100
6.7.5.1.1 Выбор уровнемера .....	100
6.7.5.1.2 Выбор датчика температуры.....	101
6.7.5.1.3 Выбор датчика давления .....	103
6.7.5.2 Выбор исполнительных механизмов .....	104
6.7.5.2.1 Выбор регулирующего клапана.....	104

6.7.5.2.2	Выбор регулятора асинхронного двигателя.....	107
6.7.5.2.3	Выбор контроллерного оборудования.....	109
6.8	Разработка схемы внешних проводок.....	113
6.8.1	Выбор алгоритмов управления АС.....	113
6.8.2	Алгоритм пуска/останова и сбора данных измерений.....	113
6.8.3	Алгоритм автоматического регулирования технологического параметра .....	114
	Вывод.....	116
7	Монтаж газового сепаратора.....	117
7.1	Организация монтажной площадки.....	117
7.2	Монтажные работы.....	117
7.3	Такелажные изделия.....	117
7.4	Расчет строп для монтажа газового сепаратора.....	118
	Вывод.....	120
8	Социальная ответственность.....	121
	Введение.....	121
8.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	121
8.2	Производственная безопасность.....	124
8.3	Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого газового сепаратора.....	126
8.3.1	Повышенный уровень шума.....	126
8.3.2	Повышенный уровень вибрации.....	127
8.3.3	Работа с вредными веществами.....	127
8.4	Анализ опасных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого газового сепаратора.....	129
8.4.1	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.....	129



8.4.2 Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола).....	130
8.4.3 Статическое электричество.....	131
8.4.4 Избыточное давление внутри аппарата.....	132
8.5 Экологическая безопасность.....	133
8.5.1 Защита гидросферы и литосферы.....	135
8.5.2 Защита атмосферы.....	135
8.5.3 Утилизация ТБО.....	136
8.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	136
8.6.1 Пожарная и взрывная опасность.....	137
Вывод.....	139
9 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	140
SWOT-анализ.....	142
9.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	143
9.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	145
9.2.3 Разработка графика проведения исследования.....	145
9.2.4 Бюджет научного исследования.....	149
9.2.4.3 Расчет амортизации специального оборудования.....	150
9.2.4.5 Дополнительная заработная плата.....	153
9.2.4.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	153
9.2.4.7 Накладные расходы.....	154
9.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	154
Заключение.....	159
Список литературы.....	161

Приложение А .....	165
--------------------	-----

## Введение

Российские нефтяники делают ставку на использование собственного топлива, снабжающего электроэнергией и теплом как отдаленные месторождения, так и предприятия, расположенные в крупных промышленных центрах. В первую очередь речь идет об утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ), который теперь все реже сжигается в факелах на месте добычи, а используется на электростанциях или поступает на газопереработку.

За семь лет применения данного постановления, вступившего в силу 1 января 2013 г., ведущие нефтяные компании страны инвестировали в проекты по рациональному использованию ПНГ более 266 млрд руб. Это в среднем ежегодно на 27,5 % выше, чем за три года, предшествовавшие началу его применения. Сегодня средний коэффициент утилизации ПНГ близок к целевому показателю в 95%, а по отдельным компаниям превысил этот ориентир.

Для утилизации ПНГ с нескольких месторождений «Газпромнефть-Востока» в 2016-2017 гг. на Шингинском месторождении был создан газотранспортный хаб с генерирующими и газотранспортными мощностями. Шингинская ГТЭС, с номинальной мощностью 24 МВт, обеспечивает электроэнергией не только само Шингинское месторождение, но и соседние в Каргасокском и Парабельском районах Томской области.

По состоянию на 2020 год на Шингинском месторождении в переработке и транспортировке ПНГ участвуют: газотурбинная электростанция, газокompрессорная станция, а также узел редуцирования газа. Суточный объем ПНГ составляет около 1,9 млн м<sup>3</sup>. На данные объемы переработки ПНГ позволило выйти открытие в 2020 году Уманского и Арчинского месторождений.

В данной работе будет произведен расчет оборудования для узла приема газа Шингинской ГТЭС, а именно газового фильтра и газового сепаратора, экономическая эффективность заключается в более высокой

подготовке газа для дальнейшего технологического процесса, следовательно и увеличению срока службы технологического оборудования.

Задачи в диссертационной работе по проектированию газового фильтр-сепаратора и сепаратора узла подготовки газа Шингинской ГТЭС:

- По исходным данным произвести технологический расчет оборудования, цель которого определение основных геометрических параметров аппарата;
- После проведения технологического расчета оборудования необходимо выбрать его исполнение по материалам, исходя из того, что в оборудовании протекает процесс очистки ПНГ от механических и жидкостных примесей;
- Для обеспечения надежности работы оборудования необходимо произвести механический расчет элементов, узлов оборудования и проверить прочность оборудования в целом;
- Рассчитать экономическую целесообразность проектируемого оборудования;
- Рассмотреть вопросы выполнения требований ГОСТ И СНиП в области безопасности и гигиены труда, а также по охране окружающей среды. Выявить опасные и вредные факторы данного производства и описать их. Предложить мероприятия по организации безопасного труда согласно стандартам.

Задачи по расчету оборудования решаются с помощью программы MathCAD.

Конечной задачей является разработка чертежей газового фильтр-сепаратора и сепаратора.

## 1. Обзор литературы

Фильтрация - процесс разделения неоднородных (дисперсных) систем (например, суспензия, аэрозоль) с помощью пористых перегородок, пропускающих дисперсионную среду и задерживающих дисперсную твердую фазу.

Сепарация – процесс разделения твердой, жидкой и газовой фаз потока с последующим извлечением из него твердой и жидкой фаз. Сепарация газа предназначена для предохранения от попадания влаги и твердых частиц в промышленные газосборные сети и технологическое оборудование газовых и газоконденсатных месторождений.

Газовый фильтр сепаратор – аппарат, обеспечивающий глубокую степень очистки добытого или транспортируемого газа, будь то природный или попутный нефтяной газ. Данный аппарат обеспечивает очистку газа от мелкодисперсной влаги и механических примесей [1].

Газовые сепараторы являются неотъемлемой частью на предприятиях добычи и хранения природного газа, нефтегазодобывающих, перерабатывающих и химических предприятиях. Они выполняют функцию предварительной очистки природного или попутного нефтяного газа от механических примесей, конденсата, нефти, капельной влаги перед последующей его переработке или перед транспортировкой по магистральным трубопроводам. Также они входят в состав установок предварительной подготовки газа и нефти, устройств очистки газа, систем сброса воды.

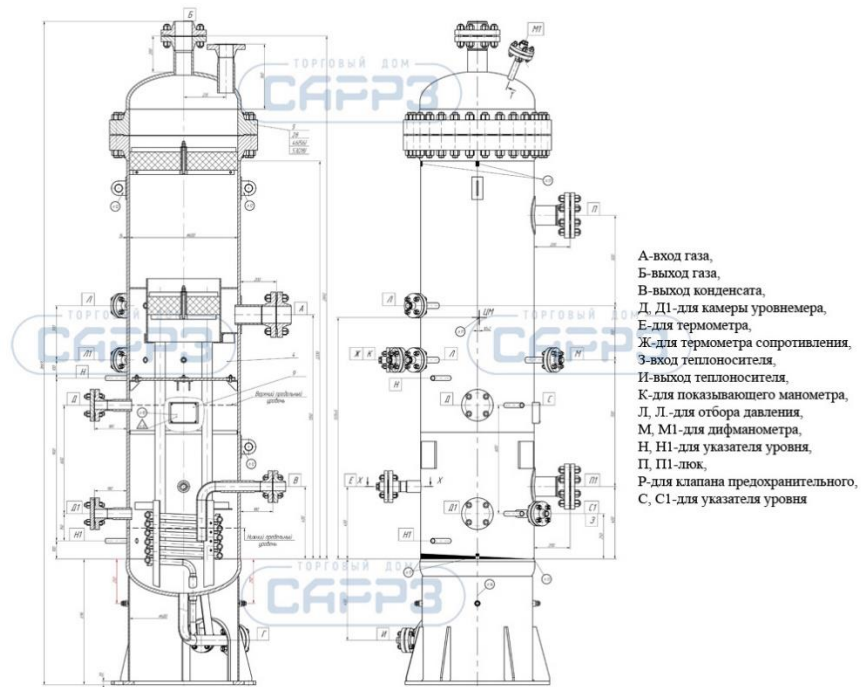


Рис. 1.1 Типовая конструкция газового сепаратора

В таблице 1.1 представлена классификация сепараторов по области применения.

Вид сепаратора	Область применения
Сепараторы-разделители	Применяются для разделения смеси жидкостей, не растворимых одна в другой, и для концентрирования суспензий и эмульсий
Сепараторы-осветлители	Предназначены для выделения твердых частиц из жидкости
Комбинированные сепараторы	Служат для выполнения двух или более операций переработки жидкой смеси

Цели отделения нефти от газа представлены в рисунке 1.1

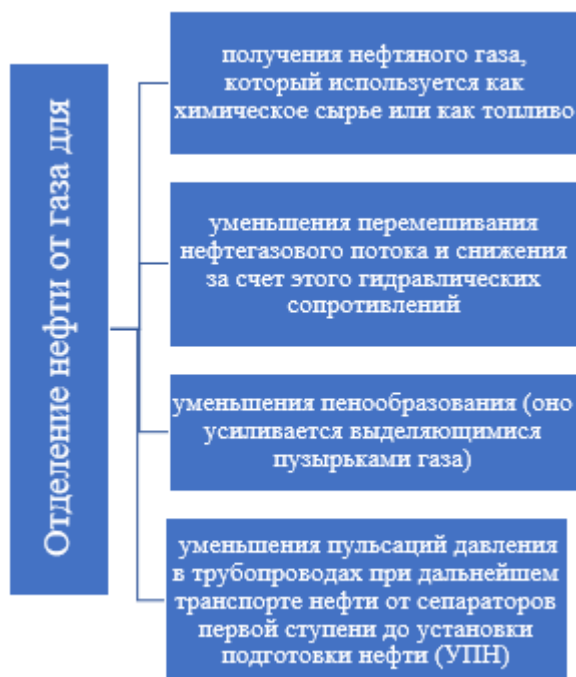


Рис. 1.2 Цели отделения нефти от газа

Движение газонефтяной смеси по промышленному трубопроводу происходит в сопровождении пульсаций давления, например, если поток имеет пробковую структуру, то происходит сменное прохождение пробок нефти и газа. Происходящие повторяющиеся нагрузки на трубопровод приводят к появлению трещин и разрушению трубопровода [1].

В таблице 1.2 представлена общая классификация сепараторов.

Таблица 1.2 Общая классификация сепараторов

Категория	Наименование
По назначению	1. Замерные 2. Сепарирующие
По геометрической форме	1. Цилиндрические 2. Сферические
По положению в пространстве	1. Вертикальные 2. Горизонтальные 3. Наклонные

Продолжение табл. 1.2

<p>По характеру основных действующих сил</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Гравитационные</li> <li>2. Инерционные</li> <li>3. Центробежные</li> <li>4. Ультразвуковые</li> </ol>
<p>По технологическому назначению</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Двухфазные</li> <li>2. Трехфазные</li> <li>3. Сепараторы первой ступени сепарации</li> <li>4. Концевые сепараторы</li> <li>5. Сепараторы-делители потока</li> <li>6. Сепараторы с предварительным отбором газа</li> </ol>



## 2. Описание технологической схемы

Газ, поступающий на площадку ГТЭС по двум трубопроводам с Шингинского и Западно-Лугинецкого месторождений, с Лугинецкого месторождения (по газопроводу в реверсивном режиме) с температурой от +5 до +35 0С, давлением 0,3-0,6 МПа (изб.) проходит измерение в СИКГ-3 и далее подается на площадку входных сепараторов (ВС-1, ВС-2) для очистки от капельной жидкости. Далее газ подается на продувку факельного коллектора высокого давления, а также к котельной, основная часть газа поступает на вход дожимных компрессорных установок (ДКУ-1...ДКУ-3), где проходит компримирование до давления 1,8 – 2,2 МПа (изб.) [2].

Компримированный газ на выходе из ДКУ, охлажденный до температуры от +50 до +80 0С подается для доочистки от капельной жидкости в ресиверы газа (РГ-1, РГ-2), далее - к газотурбинным установкам (ГТУ-1...ГТУ-4), избыток газа направляется на площадку ГКС. До ввода в работу ГКС сооружения ГТЭС потребляют требуемый объем газа для нужд объекта ГТЭС, а также выработки электроэнергии, остальной газ с площадки ДНС с УПСВ Шингинского месторождения транспортируется по действующему газопроводу на Лугинецкую газокompрессорную станцию. Ресиверы газа кроме очистки газа от капельной жидкости также сглаживают пульсации (возможных скачков давления газа) после компримирования, обеспечивают безостановочную работу блоков газотурбинных установок при переключении рабочего блока ДКУ на резервный блок ДКУ. Поддержание рабочего давления в трубопроводе газа на приеме блоков ГТУ предусмотрено клапаном регулирующим Кг2 (поддержание давления «до себя»).

Отвод конденсата от входных сепараторов газа, ресиверов газа, емкостного оборудования блоков ДКУ, газовых фильтров в блоках газотурбинных установок предусмотрен в емкость сбора конденсата (ЕК-1). Откачка жидкости из емкости предусмотрена полупогружным электронасосным агрегатом типа НВ-Д 50/50 в технологический процесс ДНС с УПСВ Шингинского месторождения.

Слив отработанного масла от блоков ДКУ, блоков газотурбинных установок выполнен в емкость слива масла (ЕП-2).

Аварийные сбросы газа от входных сепараторов, емкостного оборудования блоков ДКУ, ресиверов газа направляются в факельный коллектор высокого давления. Предусмотрена постоянная подача продувочного газа согласно, требований «Руководства по емкости слива масла (ЕП-2).

Аварийные сбросы газа от входных сепараторов, емкостного оборудования блоков ДКУ, ресиверов газа направляются в факельный коллектор высокого давления. Предусмотрена постоянная подача продувочного газа согласно, требований «Руководства по безопасности факельных систем». Для подачи заданного расхода газа в начало факельного коллектора предусмотрена система измерений газа (СИКГ-4), а также клапан регулирующей Кг1.

Согласно требованиям п. 56, п. 114 «Руководства по безопасности факельных систем» при прекращении подачи продувочного газа, а также в случае разряжения в факельном коллекторе - предусмотрена автоматическая подача азота в начало факельного коллектора от сооружений азотного хозяйства.

Для безопасной работы факельной установки и с целью отделения капельной жидкости от газа перед факельным стволом на коллекторе установлена расширительная камера (РК).

Конденсат из расширительной камеры, а также от факельного ствола ФВД отводится в емкость сбора конденсата (ЕП) с последующей откачкой электронасосным агрегатом (1 рабочий + 1 резервный) в конденсатопровод КГ8 для возврата в технологический процесс ДНС с УПСВ Шингинского месторождения.

Дыхание емкости сбора конденсата выполнено в факельный коллектор. При выводе емкости на ремонт, дыхание емкости должно быть выполнено через предохранитель огневой в атмосферу, при этом сброс конденсата в

емкость не допустим.

Учет количества газа, подаваемого на дежурные горелку факела ФВД, осуществляется при помощи СИКГ-1. Измерение количества газа, сжигаемого на факеле ФВД, предусмотрено с помощью СИКГ-2.

Согласно п.109 «Руководства по безопасности факельных систем» предусмотрен учет количества конденсата СИКГК, возвращаемого из емкости сбора конденсата в технологический процесс ДНС с УПСВ Шингинского месторождения.

На площадке ГТЭС предусмотрены следующие сооружения выработки и хранения азота: блочная азотная установка (БА), а также два газосборника сжатого азота (РА-1, РА-2) объемом 25 м<sup>3</sup> каждый. Блочная азотная установка автономна, работает в автоматическом режиме: по падению давления азота в газосборниках, по мере его потребления.

Также проектом предусмотрена подача азота от газосборников по стационарным трубопроводам к технологическим сооружениям объекта с целью продувки оборудования, трубопроводов перед выводом на ремонт, при подготовке к пуску.

Для работы аварийной дизельной электростанции на площадке ГТЭС предусмотрены сооружения хранения дизельного топлива. Дизельное топливо на объект завозится автотранспортом. Для слива дизельного топлива в резервуар запаса (Р-1) предусмотрена площадка загрузки/выгрузки ГСМ. Подача дизельного топлива в резервуар предусматривается насосом автоцистерны через фильтры, систему измерений количества дизельного топлива СИКДТ.

Аварийный слив дизельного топлива из резервуара запаса выполнен в подземную емкость (ЕП-3).

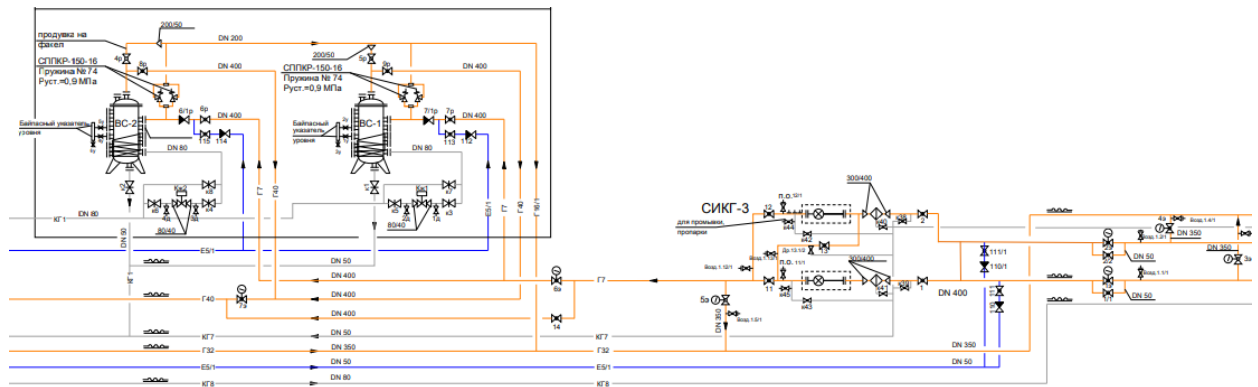


Рис. 2.1 Узел приема и подготовки попутного топливного газа.

### 3. Расчет газового сепаратора

Расчет включает в себя технологический, механический и конструктивный расчеты [4].

#### 3.1 Технологический расчет

Расчет ведем по [6].

$P := 0.6$  МПа - давление в аппарате

$t_{\text{раб}} := 15$  °С - рабочая температура

$Q_{\Gamma} := 216000 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}$  - производительность по газу

$T_1 := t_{\text{раб}} + 273 = 288$  К

Определяем диаметр аппарата по газовой производительности

Найдем максимальную скорость газового потока [1]:

$$w_{\Gamma} := 0.245 \cdot P^{-0.5} = 0.316$$

Определим площадь поперечного сечения потока газа в сепараторе [1]:

$z := 0.9$  коэффициент сжимаемости реального газа

$p_0 := 0.1013$  МПа нормальное давление

$T_0 := 273$  К абсолютно нормальная температура

---

$$Q_{\Gamma 1} := 2.5 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$F_1 := \frac{Q_{\Gamma 1} \cdot p_0 \cdot T_1^z}{P \cdot T_0 \cdot w_{\Gamma}} = 0.799 \text{ м}^2$$

Диаметр сепаратора по газовой производительности равен:

$$D := \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot F_1}{\pi}} = 1.426$$

Так как заполнение аппарата газом колеблется от 50 до 65 %, примем диаметр равный 1.5 м.

$$D_1 := 0.6 \text{ м}$$

Минимальная длина аппарата:

$$L_1 := 4.5 \cdot D_1 = 2.7 \text{ м}$$

Объем

$$\pi \cdot D_1^2 \cdot L_1$$

По ТУ 3683-014-00217389-97 выбираем по расходу газа и рабочему давлению сепаратор: ГС1-2,5-600 с внутренним диаметром 600 мм, производительностью по газу 10210 м<sup>3</sup>/час и расчетным давлением 2.5 МПа.

### 3.1.1 Расчет и подбор патрубков

$w_{Г1} := 15$  м/с - скорость ПНГ в трубке

$Q_{Г1} = 2.5$  м<sup>3</sup>/с

Определяем диаметр патрубка для входа нефтяного газа:

$$d_{у_{вход}} := \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{Г1}}{\pi \cdot w_{Г1}}} = 0.461 \quad \text{м}$$

Принимаем штуцер Ду=500 мм

Определяем диаметр патрубка для выхода ПНГ, м

Производительность по газу на выходе:

$Q_{Г2} := 2.45$  м<sup>3</sup>/с

$$d_{у_{выход}} := \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{Г2}}{\pi \cdot w_{Г1}}} = 0.456$$

Примем диаметр штуцера Ду=500 мм

Определяем диаметр патрубка для выхода конденсата

Производительность сепаратора по конденсату:

Примем диаметр штуцера Ду=500 мм

Определяем диаметр патрубка для выхода конденсата

Производительность сепаратора по конденсату:

$Q_k := 0.000277$  м<sup>3</sup>/с

Принимаем  $w_k = 0,3$  м/с - скорость конденсата в трубке

$w_k := 0.3$  м/с

$$d_{у_{выходк}} := \sqrt{\frac{4 \cdot Q_k}{\pi \cdot w_k}} = 0.034 \quad \text{м}$$

Примем диаметр штуцера равный Ду=50 мм.

### 3.1.2 Выбор конструктивного материала

Для нормального функционирования аппарата необходимо правильно выбрать конструкционный материал.

Подбор производится исходя из условий, в которых будет эксплуатироваться аппарат. Материалы, выбранные для деталей и сборочных единиц, должны обеспечивать надежность колонны в работе и экономичность в изготовлении. При выборе материала необходимо учитывать рабочую (расчетную) температуру в колонне, давление и коррозионную активность среды.

Химической средой в колонне является смесь углеводородов, наибольшая температура среды – 15 °С, избыточное давление 0,6 МПа.

Среда не является агрессивной, следовательно, сталь выбираем 09Г2С. Из данной стали изготавливаются обечайки, днища, плоские фланцы корпусов аппаратов, штуцеров и трубопроводов, трубные решетки теплообменных аппаратов и другие детали аппаратов ответственного назначения. [6]

## 3.2 Механический расчет

### 3.2.1 Расчетные параметры

Расчет ведем по [5].

Расчетное напряжение

Основные характеристики стали определяются согласно ГОСТ 34233.1-2017 [4]: допускаемое напряжение предел текучести, модуль упругости.

Принимаем расчетную температуру:

$$t_p := 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Выбор стали для корпуса и фланцев сепаратора обоснован в первую очередь хладостойкостью данной стали. Так как аппарат устанавливается на открытой площадке, температура окружающей среды в зимний период может достигать - 40 °С. Согласно данным [3] выбираем сталь 09Г2С, которая используется при рабочей температуре от - 40 °С до + 475 °С, и относится к углеродистым низколегированным сталям. Обладает легкой свариваемостью и высокой механической прочностью.

Допускаемое напряжение определим согласно [4]:  
при температуре 20 °С:

$$\sigma_{д20} := 196 \text{ МПа}$$

Рабочее давление в корпусе аппарата:  $P_p := 0.6 \text{ МПа}$

Коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, по таблице, в соответствии с рекомендацией [3]:

$$\phi_p := 1$$

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов:  
Скорость коррозии материала от действия рабочей среды:

$$П := 0.01 \text{ мм/год}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau_B := 20 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := П \cdot \tau_B = 0.2 \text{ мм}$$



Поправка на минусовое отклонение, согласно ГОСТ 199032015:

$$c_2 := 0.8 \text{ мм}$$

На утонение стенки элемента сосуда при технологических операциях:

$$c_3 := 0.2 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := \text{ceil}(c_1 + c_2 + c_3) = 2 \text{ мм}$$

Расчет давлений

Давление в аппарате:

Расчетное давление в аппарате при рабочих условиях:

$$P_p = 0.6 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях:

$$P_{и} := 1.25 \cdot P_p \cdot 1 = 0.75 \text{ МПа}$$

Условие давление:

$$P_{усл} := P_p \cdot 1 = 0.6 \text{ МПа}$$

### 3.2.2 Расчет толщины стенок

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки.

На рисунке 3.1 представлена расчетная схема цилиндрической обечайки аппарата:

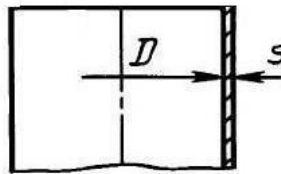


Рисунок 3.1 Расчетная схема обечайки аппарата

Расчет ведем по [5]

Диаметр аппарата

$$D_{\text{вн}} := 600 \text{ мм}$$

$$s_p := \max \left( \left( \frac{P_p \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \sigma_{\text{д}40} \cdot \phi_p - P_p} \right), \left( \frac{P_{\text{и}} \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \sigma_{\text{д}20} \cdot \phi_p - P_{\text{и}}} \right) \right) \quad s_p = 1.378 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{\text{ис}} := \text{ceil}(s_p + c) = 4$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s_{\text{ис}} := 10 \text{ мм}$$

Так как  $\left( \frac{s - c}{D_{\text{вн}}} \right) = 0.013 < 0.1$ , условия применения формул выполняются

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле: В рабочем состоянии

$$P_{\text{д}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д}40} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D_{\text{вн}} + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д}} = 5.06 \text{ МПа}$$

При испытаниях

$$P_{\text{д.и}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д}20} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D_{\text{вн}} + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д.и}} = 5.192 \text{ МПа}$$

По условию рабочее давление  $P = 0,6$  МПа, а рассчитанное допускаемое давление  $P_{\text{д}} = 5,06$  МПа, следовательно допустимо нагружать обечайку рабочим давлением  $P = 0,6$  МПа.

Расчет толщины стенки эллиптической крышки корпуса аппарата

На рисунке 3.2 представлена расчетная схема эллиптической крышки аппарата

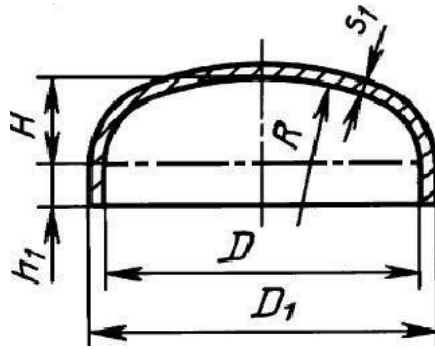


Рисунок 3.2 Расчетная схема эллиптической крышки

Расчет ведем по [5]

$$D_{\text{вн.кожуха}} := 600 \quad \text{мм}$$

Высота эллиптической крышки должна быть найдена из допуска:

$$0.2 < \frac{H}{D} < 0.5$$

где H это высота эллиптической крышки, мм

$$\underline{H} := 0.25 \cdot D_{\text{вн.кожуха}}$$

$$H = 150 \quad \text{мм}$$

$$R_1 := \frac{D_{\text{вн.кожуха}}^2}{4 \cdot H} = 600$$

Рассчитаем исполнительную толщину стенки:

$$s_{\text{э.п}} := \max \left( \left( \frac{P_p \cdot R_1}{2 \cdot \sigma_{\text{д40}} \cdot \phi_p - 0.5 P_p} \right), \left( \frac{P_{\text{и}} \cdot R_1}{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p - 0.5 P_{\text{и}}} \right) \right) \quad s_{\text{э.п}} = 1.376 \quad \text{мм}$$

$$\underline{s} := s_{\text{э.п}} + c \quad s = 3.376 \quad \text{мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s := 10 \text{ мм}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле:  
рабочем состоянии

$$P_{\text{вн}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д40}} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{R_1 + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д}} = 5.06 \text{ МПа}$$

При испытаниях

$$P_{\text{вн.исп}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p^{\text{исп}} \cdot (s - c)}{R_1 + 0.5(s - c)} \quad P_{\text{д.исп}} = 5.192 \text{ МПа}$$

Применимость формул по [5]

$$\frac{s - c}{D_{\text{вн.кожуха}}} = 0.013$$

Формулы применимы

$$(0.002 < 0.013 < 0.1)$$

### 3.2.3 Расчет укрепления отверстий

Расчет ведем по [7].

#### Расчет укрепления отверстий в цилиндрической обечайке

Расчет по [9]

Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки

$$D := 600 \text{ мм}$$

Внутреннее давление на цилиндрическую обечайку

$$P_{\text{вн}} := 0.7 \text{ МПа}$$

Расчётная температура

$$^{\circ}\text{C}$$

Исполнительная толщина стенки оболочки

$$s_s := 10 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия

$$d1 := 150 \text{ мм}$$

Прибавка расчетной толщины стенки

$$s_r := 2 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности сварных швов

$$\phi := 1$$

Допускаемое напряжение для стали при 20 °С

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа}$$

Минимальное значение предела текучести стали при 20 °С

$$R_{p1.0} := 300 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре:

$$\sigma_d := 191 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при нормальных условиях:

$$s_{20} := \text{Floor}(\sigma_{20}, 0.5) = 196 \text{ МПа}$$

Давление при испытании на прочность:

$$P_{\text{исп}} := 1.25 \cdot P_{\text{вн}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d} = 0.898 \quad \text{МПа}$$

Расчетные внутренние диаметры укрепляемых элементов определяем согласно [9] Для штуцера на цилиндрической обечайке

$$D_{p1} := D$$

Расчетные диаметры отверстия:

$$d_{p1} := d1 + 2c$$

$$d_{p1} = 154$$

На рисунке 3.4 представлена расчетная схема укрепления отверстий

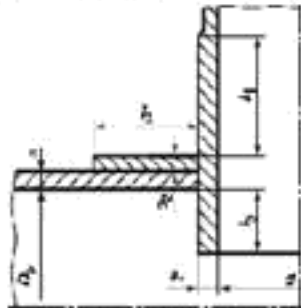


Рисунок 3.4 - Основная расчетная схема укрепления отверстий

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или сварного кольца

$$b_p := \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} \quad b_p = 69.282 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

$$\text{пров1} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left( \frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D} \geq 1 \right) \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \left( \frac{s - c}{D} \geq 0.1 \right) \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\overline{\text{пров1}} = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

$$s_p := 1.378 \quad \text{Расчетная толщина стенки обечайки}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_o := 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} = 693.585 \quad \text{мм}$$

Проверка условий необходимости дальнейшего расчета укрепления отверстий:

$$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_o \geq d_{p1} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\overline{\text{пров3}} = \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"}$$

Расчет укрепления отверстий в эллиптической крышке

Расчет по [ 9 ]

Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки	$D_{\text{вн}} := 600 \text{ мм}$
Высота эллиптической крышки	$H_{\text{эл}} := 0.25 \cdot D = 150 \text{ мм}$
Внутреннее давление на цилиндрическую обечайку	$P_{\text{вн}} := 0.7 \text{ МПа}$
Расчётная температура	$t \text{ } ^\circ\text{C}$
Исполнительная толщина стенки оболочки	$s_{\text{эл}} := 10 \text{ мм}$
Диаметр отверстия	$d1 := 150 \text{ мм}$
Прибавка расчетной толщины стенки	$s_c := 2 \text{ мм}$
Коэффициент прочности сварных швов	$\phi_s := 1$
Допускаемое напряжение для стали при $20 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа}$
Минимальное значение предела текучести стали при $20 \text{ } ^\circ\text{C}$	$R_{p1.0} := 300 \text{ МПа}$

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре:

$$\sigma_{d,t} := 191 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при нормальных условиях:

$$\sigma_{20} := \text{Floor}(\sigma_{20,0.5}) = 196 \text{ МПа}$$

Давление при испытании на прочность:

$$P_{\text{исп}} := 1.25 \cdot P_{\text{вн}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d} = 0.898 \text{ МПа}$$

Расчетные внутренние диаметры укрепляемых элементов определяем согласно с [9]

Для штуцера на эллиптической крышке

$x := 0 \text{ мм}$  Расстояние от оси крышки до оси укрепляемого штуцера

$$D_{p1} := \frac{D^2}{2H} \cdot \sqrt{1 - 4 \frac{D^2 - 4H^2}{D^4} \cdot x^2} = 1.2 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетные диаметры отверстия :

$$d_{p1} := \frac{d1 + 2c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2x}{D_{p1}}\right)^2}} = 154 \text{ мм}$$

$$d_{p1} = 154 \text{ мм}$$

Расчетные длины штуцера:

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или сварного кольца

$$l_p := \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} \quad l_p = 97.98 \text{ мм}$$

$$\text{пров1} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left( \frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D} \geq 1 \right) \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \left( \frac{s - c}{D} \geq 0.1 \right) \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\overline{\text{пров1}} = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

$$s_{p1} := 1.376 \quad \text{Расчетная толщина стенки обечайки}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_{01} := 2 \left( \frac{s - c}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s - c)} = 982.53 \quad \text{мм}$$

Проверка условий необходимости дальнейшего расчета укреплений отверстий:

$$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_{p1} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\overline{\text{пров3}} = \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"}$$

### 3.2.4 Расчет фланцевого соединения

Расчет фланцевого соединения, соединяющего эллиптическую крышку и цилиндрическую обечайку по [6].

Материал обечаек и фланцев 09Г2С.

Материал болтов 40Х по ОСТ 26-291-94 [7].

Материал прокладки паронит маслобензостойкий по ГОСТ 481-80 [8], т.к. среда относительно агрессивна, а также материал подходит по таким параметрам как давление и температура.

Среда взрывоопасна, поэтому уплотнительная поверхность выбрана типа шпиг-паз.

На рисунке 3.5 представлена расчетная схема фланцевого соединения типа шпиг-паз.

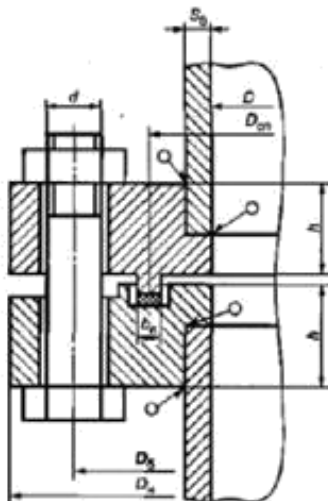


Рисунок 3.5 - Фланцевое соединение типа шпиг-паз

$D_{\text{вн}} := 600 \text{ мм}$	Диаметр лока-лаза
$n := 28 \text{ шт}$	Количество шпилек
$t := 40 \text{ } ^\circ\text{C}$	Расчетная температура, при которой работает фланец
$P := 0.7 \text{ МПа}$	Максимальное давление, действующее на фланец
$D_{\text{н}} := 740 \text{ мм}$	Диаметр фланца наружный наружный



$D_{б.о} := 700$ мм	Диаметр болтовых отверстий
$h := 40$ мм	Толщина тарелки фланца
$D_{ш} := 20$ мм	Диаметр шпилек
$D_{нп} := 663$ мм	Наружний диаметр прокладки
$S_0 := 10$ мм	Толщина стенки кожуха
$M := 0$ Н·мм	Изгибающий момент
$F_{ос} := 0$ Н	Осевая растягивающая сила

Шпильки: М20

Определение расчетных параметров

Расчетные температуры

Расчетная температура неизолированных фланцев

$$t_{\phi} := 0.96t \quad t_{\phi} = 38.4$$

Расчетная температура шпилек

$$t_{\sigma} := 0.85t = 34$$

Допускаемое напряжение для материала шпилек

$$k_{\sigma} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д.б} := \text{Floor}(\text{Interp}(t, \sigma, t_{\sigma}), 0.5) \quad \sigma_{д.б} = 230 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при рабочей температуре

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 2.14 \cdot 10^5 \\ 2.11 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_{\sigma} := \text{Floor}(\text{Interp}(t, E, t_{\sigma}), 0.01) \quad E_{\sigma} = 2.135 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Допускаемое напряжение для шпилек при } t=20^{\circ}\text{C} \quad \sigma_{20.б} := 230 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Модуль упругости для шпилек при температуре испытания } E_{20б} := 2.18 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 40Х при  $t=20-400^{\circ}\text{C}$

$$\alpha_{\sigma} := 13.4 \cdot 10^{-6} \quad \frac{1}{\text{K}}$$

Поскольку фланцы изготавливаются из того же материала что и обечайка, то расчетные значения примем такими же как и для материала обечайки.

$$\sigma_{д} := 193.5 \quad \text{МПа} \quad \text{допускаемое напряжение для стали 09Г2С}$$

$$\sigma_{д20} := 196 \quad \text{МПа} \quad \text{допускаемое напряжение для стали 09Г2С при } 20^{\circ}\text{C}$$

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \quad \text{МПа} \quad \text{Модуль упругости для стали 09Г2С при } 20^{\circ}\text{C}$$

$$E := 1.98 \cdot 10^5 \quad \text{МПа} \quad \text{Модуль упругости для стали 09Г2С при рабочей температуре}$$

$$\alpha_{\phi} := 12.6 \cdot 10^{-6} \quad \frac{1}{\text{K}} \quad \text{Коэффициент линейного расширения для стали 09Г2С при } t=20-200^{\circ}\text{C}$$

Из рекомендации в ГОСТ481-80 выбираем толщину прокладки 3 мм.

Эффективная ширина плоской прокладки,  $b_0$

$$b_n := 14$$

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_n & \text{if } b_n \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \cdot \sqrt{b_n}, 1) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b_0 = 14$$

Характеристики прокладки по ГОСТ 481-80

$m := 2.5$  прокладочный коэффициент

$q_{обж} := 20$  МПа Удельное давление обжатия прокладки

$q_d := 130$  МПа Допускаемое удельное давление

$K_{обж} := 0.9$  Коэффициент обжатия

Условный модуль сжатия прокладки

Усилие,необходимое для смятия прокладки при затяжке

$$D_{сп} := D_{нп} - b_0 = 649$$

$$P_{обж} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P|$$

$$P_{обж} = 2.498 \times 10^4 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения

$$R_{п} := \begin{cases} (\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P) & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{п} = 4.995 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечения болтов(шпилек) приложение Д.1 [6]:

$$f_b := 225 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения болтов(шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра

$$A_b := n \cdot f_b \quad A_b = 6.3 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_d := 0.785 \cdot D_{сп}^2 \cdot P \quad Q_d = 2.314 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$Q_{FM} := F + \frac{4 \cdot M}{D_{сп}} = 0$$

Плечо действия усилий в болтах (шпильках) для приварных встык и плоских фланцев

$$b := 0.5(D_{б,о} - D_{сп}) \quad b = 25.5 \text{ мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e_b := 0.5(D_{сп} - D - S_0) \quad e = 19.5 \text{ мм}$$

Податливость прокладки

$$h_{п} := 3$$

$$y_{п} := \frac{h_{п} \cdot K_{обж}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 4.729 \times 10^{-8}$$

$L_{60} := 85$  мм Длина шпильки, найдена исходя из толщины фланцев и прокладки

$d := 20$  мм внешний диаметр шпильки, т.к. был выбрана шпилька M20

$$L_6 := L_{60} + 0.56 \cdot d$$

$$L_6 = 96.2 \text{ мм}$$

Податливость шпилек

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} \quad y_6 = 7.005 \times 10^{-8} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расчетные параметры фланцев:  
параметр длины обечайки

$$s_0 := 10 \quad \text{толщина обечайки}$$

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 77.46 \quad \text{мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.233$$

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.824$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 10.314$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \left( 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{K^2 - 1} \right) \quad \beta_Y = 9.475$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 4.838$$

Коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык, фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами и свободными фланцами:

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.55 \quad f := 1$$

Коэффициент  $\lambda$

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot S_0^2} \quad \lambda = 1.247$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{\lambda \cdot l_0 \cdot S_0^2 \cdot E_{20}} \quad y_\phi = 2.605 \times 10^{-10} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$y_{\phi H} := \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{6.o}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H}$$

$$y_{\phi H} = 3.598 \times 10^{-11}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками (болтами)

$$C_F := \max \left[ 1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{6.o}}{n \cdot \left( 2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] = 1$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык фланцев

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{206}}{E}} \quad \gamma = 2.177 \times 10^6$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык с плоскими прокладками

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} \quad \alpha = 1.464$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_{\text{б}} + 2 \cdot y_{\phi_{\text{н}}} \cdot b \cdot \left( b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п}} \left( \frac{D_{\text{б.о}}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi_{\text{н}}} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.882$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык фланцами

$$\begin{aligned} \alpha_{\phi 1} &:= \alpha_{\phi} & \alpha_{\phi 2} &:= \alpha_{\phi 1} & \alpha_{\text{м}1} &:= \alpha_{\text{б}} & h_{\text{м}} &:= 3 & t_{\phi 1} &:= t_{\phi} \\ h_1 &:= h & h_2 &:= h_1 & \alpha_{\text{м}2} &:= \alpha_{\text{м}1} & t_{\phi 2} &:= t_{\phi 1} \end{aligned}$$

$$Q_t := \gamma \left[ (\alpha_{\phi 1} \cdot h_1 + \alpha_{\text{м}1} \cdot h_{\text{м}}) \cdot (t_{\phi 1} - 20) + (\alpha_{\phi 2} \cdot h_2 + \alpha_{\text{м}2} \cdot h_{\text{м}}) \cdot (t_{\phi 2} - 20) - \alpha_{\text{б}} \cdot (h_1 + h_2) \cdot (t_{\text{б}} - 20) \right]$$

$$Q_t = 1.093 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на болты(шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения

$$P_{\text{б}1} := \max \left[ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M}{D_{\text{сп}}}, \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M}{D_{\text{сп}}} - Q_t \right]$$

$$P_{\text{б}1} = 3.889 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$P_{\text{б}2} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot \sigma_{20.6})$$

$$P_{\text{б}2} = 5.796 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на болты(шпильки) фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\text{бм}} := \max(P_{\text{б}2}, P_{\text{б}1}) \quad P_{\text{бм}} = 5.796 \times 10^5$$

Расчетная нагрузка на болты(шпильки) фланцевых соединений в рабочих условиях

$$P_{\text{бр}} := P_{\text{бм}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot M}{D_{\text{сп}}}$$

$$P_{\text{бр}} = 4.831 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Проверка прочности болтов(шпилек) и прокладки

Расчетные значения в болтах(шпильках)

При затяжке:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_6} \quad \sigma_{61} = 92 \quad \text{МПа}$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6P}}{A_6} \quad \sigma_{62} = 76.679 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Usl\_bol1} := \begin{cases} \text{"Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{20.6} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl\_bol1 = "Условия прочности выполняются"

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{сн} \cdot b_n} \quad q = 20.305 \quad \text{МПа} \quad q_d = 130 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Usl\_prokl} := \begin{cases} \text{"Условия прочности прокладки НЕ выполняются"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условия прочности прокладки выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl\_prokl = "Условия прочности прокладки выполняются"

Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец при затяжке

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b \quad M_M = 1.478 \times 10^7 \quad \text{Н·мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_P := C_F \cdot \max[P_{6P} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e]$$

$$M_P = 1.683 \times 10^7 \quad \text{Н·мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца

$$c_0 := 2 \quad \text{мм} \quad \text{прибавка на коррозию}$$

D<sub>пр</sub> - приведенный диаметр фланца

$$D_{пр} := 600$$

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} = 308.743 \quad \sigma_{0M} = 308.743 \quad \text{МПа}$$

Напряжение в тарелке приварного встык фланца или плоского в условиях

затяжки радиальное напряжение

$$\sigma_{RМ} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RМ} = 20.068 \quad \text{МПа}$$

окружное напряжение

$$\sigma_{ТМ} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RМ} \quad \sigma_{ТМ} = 48.777 \quad \text{МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с прямой втулкой и плоских фланцев

$$\sigma_{0P} := \frac{M_P}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0P} = 351.607 \quad \text{МПа}$$

максимальные меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца

$$\sigma_{0mp} := \max \left[ \frac{Q_d + F + \frac{4M}{D_{сн}}}{\pi(D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)}, \frac{Q_d + F - \frac{4M}{D_{сн}}}{\pi(D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right]$$

$$\sigma_{0mp} = 15.097 \quad \text{МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в рабочих условиях

радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_T \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 22.854 \quad \text{МПа}$$

окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 55.549 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{d0} := 194.5 \quad \sigma_{d0} := 196$$

PR\_1 := "Условия статической прочности при затяжке НЕ выполняются"

PR\_2 := "Условия статической прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

PR\_3 := "Условия статической прочности выполняются"

KT := 1      коэффициент, учитывающий стесненность температурных деформаций

Для плоских фланцев с  $D > 400$  по [6] принимаем, что  $\sigma_0$  равно:

$$\sigma_R := 3 \cdot \sigma_d = 583.5 \quad \text{МПа} \quad \text{по гост 34233.1-2017 [4]}$$

$$\sigma_0 := \frac{1.3}{KT} \cdot \sigma_R = 758.55 \quad \text{МПа}$$

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0m} + \sigma_{Rm}|, |\sigma_{0m} + \sigma_{Tm}|) > KT \cdot \sigma_0 \\ PR_2 & \text{if } \max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp}|, |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}|) > KT \cdot \sigma_0 \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl\_3 = "Условия статической прочности выполняются"

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

$$\Theta := M_p \cdot Y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E}$$

$$\Theta = 4.406 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца       $\Theta_d := 0.013$

$$Usl_P := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_d \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl\_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

### 3.2.5 Расчет веса аппарата

Исходные данные:

$D_{\text{вн}} := 0.62$		внешний диаметр аппарата
$D_{\text{вн}} := 0.6$	м	внутренний диаметр аппарата
$H := 3.35$		высота аппарата
$V_{\text{ап}} := 0.8$		объем аппарата
$\rho_{\text{ст}} := 7850$	кг/м <sup>3</sup>	плотность стали 09Г2С
$\rho_{\text{в}} := 1000$	кг/м <sup>3</sup>	плотность воды
$g := 9.8$	м/с <sup>2</sup>	ускорение свободного падения

Рассчитываем вес обечайки, крышки и днища

$$G_1 := \frac{\pi}{4} (D_{\text{н}}^2 - D_{\text{вн}}^2) H \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot g = 4.939 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Прибавку веса на фланцы, патрубки, внутреннее оборудование примем равной 0,4 от  $G_1$

$$G_2 := G_1 \cdot 0.4 = 1.976 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Общий вес обечайки, крышки, днища, фланцев и внутреннего оборудования

$$G_{12} := G_1 + G_2 = 6.914 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Вес воды при проведении гидротестирования

$$G_{\text{воды}} := V_{\text{ап}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot g = 7.84 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Общий вес аппарата

$$G_{\text{общ}} := G_{12} + G_{\text{воды}} = 1.475 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Вес приходящийся на одну опору

$$G_{\text{опор}} := \frac{G_{\text{общ}}}{3} = 4.918 \times 10^3 \quad \text{Н}$$



### 3.2.6 Расчет и подбор опор

Расчет ведем по ГОСТ 34233.5-2017 [10]

$\underline{D} := 600$	мм	диаметр аппарата
$\underline{s} := 10$	мм	толщина стенки
$\underline{c} := 2$	мм	прибавка к толщине стенки
$\underline{G} := 4918$	Н	вес приходящийся на одну опору
$\underline{M} := 0$	Н·мм	изгибающий момент, действующий на обечайку в сечении, где расположены опоры
$\underline{d_4} := 420$	мм	диаметр опорной окружности
$\underline{b_1} := 160$	мм	диаметр несущего ушка в основании
$\underline{\alpha} := 23.4$ -deg	град	угол наклона меридиональной касательной у опорной окружности
$\underline{k} := 10$	мм	скос ребра опорной пластинчатой стойки
$\underline{p_1} := 0.7$	МПа	расчетное давление
$\underline{b} := 115$	мм	длина плиты основания опорной стойки
$\underline{\phi_p} := 1$		коэффициент прочности сварных швов

На рисунке 3.6 представлена расчетная схема опорной стойки

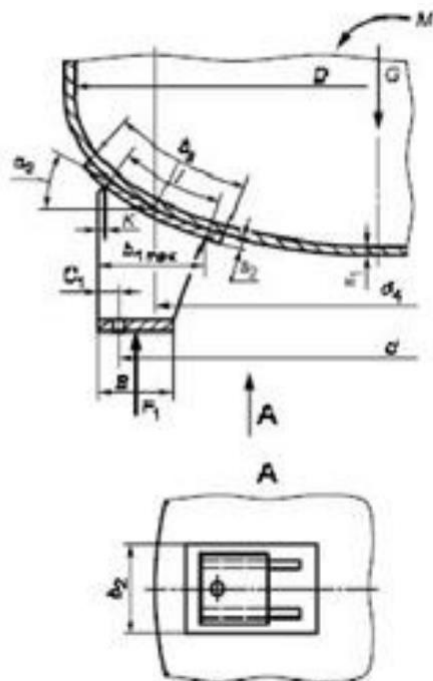


Рисунок - 3.6 Расчетная схема опорной стойки



Расчет:

Для равномерного распределения нагрузки на опору назначаем количество стоек равное трем:

$$n_c := 3$$

Длина линии контакта опоры с дном согласно [10]:

$$l := \frac{(b_1 - k)}{\cos(\alpha)} \quad l = 163.442 \quad \text{мм}$$

Проверка условия использования полученной длины линии контакта:

$$\text{Usl}_5 := \begin{cases} \text{"Условие использования длины линии контакта выполняется"} & \text{if } 0.1 \leq \frac{l}{D} \leq 0.35 \\ \text{"Условие использования длины линии контакта НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Usl}_5 = \text{"Условие использования длины линии контакта выполняется"}$$

### Расчетные усилия

Вертикальное усилие на опорную стойку:

$$F_1 := \frac{G}{3} + \frac{M}{0.75d_4} \quad F_1 = 1.639 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Изгибающий момент, передаваемый опорой на дно:

$$M_1 := \frac{F_1 \cdot (b_1 - b + k)}{2} \quad M_1 = 4.508 \times 10^4 \quad \text{Н·мм}$$

### Проверка несущей способности эллиптического дна

Несущую способность дна в месте приварки опорой лапы следует проверять по формуле:

$$\frac{F_1 \cdot \sin(\alpha)}{F_{1д}} + \frac{M_1}{M_{1д}} + \frac{P_1}{P_{1д}} \leq 1$$

Допускаемое нормальное усилие, действующее по нормали к неподкрепленному эллиптическому дну:

$$k_{20} := 93 \quad \text{коэффициент определяем по [рис.13, 10]}$$

$$\sigma_{\text{доп}} := 191 \quad \text{МПа} \quad \text{допускаемое напряжение при расчетной температуре}$$

$$F_{1д} := 0.25 k_{20} \cdot \sigma_{\text{доп}} \cdot (s - c)^2 \cdot \left(0.2 + \frac{d_4}{D}\right) = 2.558 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Допускаемый изгибающий момент для неподкрепленного эллиптического дна:

$$k_{21} := 9.7 \quad \text{коэффициент определяем по [рис.14, 10]}$$

$$M_{1д} := 0.25 k_{21} \cdot \sigma_{\text{доп}} \cdot (s - c)^2 \cdot D \cdot \left(0.2 + \frac{d_4}{D}\right) = 1.601 \times 10^7 \quad \text{Н·мм}$$

### Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$P_{1д} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{доп}} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + s - c} = 5.026 \quad \text{МПа}$$

$$\frac{F_1 \cdot \cos(\alpha)}{F_{1д}} + \frac{M_1}{M_{1д}} + \frac{P_1}{P_{1д}} = 0.148 \quad 0.148 < 1 \quad \text{Условие выполняется}$$

#### 4. Расчет газового фильтра – сепаратора

Расчет включает в себя гидравлический, механический и конструктивный расчеты [4].

##### 4.1 Гидравлический расчет

$$P := 0.6 \text{ МПа}$$

$$t_{\text{раб}} := 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Г}} := 432000 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}$$

$$T_1 := t_{\text{раб}} + 273 = 288 \text{ К}$$

$$\rho_{\text{Г}} := 1.332 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Определим диаметр аппарата по газовой производительности.

Найдем максимальную скорость газового потока [1]:

$$w_{\text{Г}} := 0.245 \cdot P^{-0.5} = 0.316 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Определим площадь поперечного сечения потока газа в сепараторе [1]:

$z := 0.9$  коэффициент сжимаемости реального газа

$p_0 := 0.1013 \text{ МПа}$  атмосферное давление

$T_0 := 273 \text{ К}$  абсолютно нормальная температура

$$Q_{\text{Г1}} := \frac{Q_{\text{Г}}}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 5 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$F_1 := \frac{Q_{\text{Г1}} \cdot p_0 \cdot T_1^z}{P \cdot T_0 \cdot w_{\text{Г}}} = 1.598 \text{ м}^2$$

Диаметр аппарата по газовой производительности равен:

$$D := \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot F_1}{\pi}} = 2.017 \text{ м}$$

Так как заполнение аппарата газом колеблется от 50 до 65%, примем диаметр равный 1.5 м.

По ТУ 3683-083-36214188-2013 выбираем аппарат подходящий под наши условия. Нам подходит фильтр-сепаратор с внутренним диаметром  $D = 200 \text{ мм}$  и рассчитанный на входное давление 1,0 МПа, заявленная пропускная способность 29480 м<sup>3</sup>/ч.

Минимальная длина аппарата:

$$D_1 := 0.2 \text{ м}$$

$$L_1 := 4.5 \cdot D_1 = 0.9 \text{ м}$$

Объем аппарата:

$$V_1 := \frac{\pi \cdot D_1^2 \cdot L_1}{4} = 0.028 \text{ м}^3$$

#### 4.1.1 Расчет и подбор патрубков

$$w_{Г1} := 40 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ скорость ПНГ в патрубке}$$

$$Q_{Г1} = 5 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$d_{y_{ВХ}} := \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{Г1}}{\pi \cdot w_{Г1} \cdot \rho_{Г}}} = 0.346$$

Примем диаметр патрубка  $Dy=350\text{мм}$

Определяем диаметр патрубка для слива конденсата.

Производительность по конденсату:

$$Q_k := 0.000277 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$w_k := 0.3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$d_{y_{ВЫХ}} := \sqrt{\frac{4 \cdot Q_k}{\pi \cdot w_k}} = 0.034 \text{ м}$$

Примем диаметр патрубка равный  $Dy=50\text{мм}$ .

## 4.2 Механический расчет

### 4.1.2 Расчетные параметры

Коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки определяем при условии, что швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, по таблице в соответствии с рекомендацией [3]:

$$\phi_p := 1$$

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов:  
Скорость коррозии материала от действия рабочей среды:

$$П := 0.01 \text{ мм/год}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau_B := 20 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := П \cdot \tau_B = 0.2 \text{ мм}$$

Поправка на минусовое отклонение:

$$c_2 := 0.8 \text{ мм}$$

На утонение стенки элемента сосуда при технологических операциях:

$$c_3 := 0.2 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := \text{ceil}(c_1 + c_2 + c_3) = 2 \text{ мм}$$

Расчет давлений.

Расчетное давление в аппарате при рабочих условиях:

$$P_p = 0.6 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях:

$$P_{\text{ги}} := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{\text{д}20}}{\sigma_{\text{д}}} = 0.75 \text{ МПа}$$

Условное давление:

$$P_{\text{усл}} := P_p \cdot \frac{\sigma_{\text{д}20}}{\sigma_{\text{д}}} = 0.6 \text{ МПа}$$

## 4.2 Расчет толщины стенок

Расчет толщины стенок цилиндрической обечайки.

На рисунке 4.1 представлена схема цилиндрической обечайки аппарата:

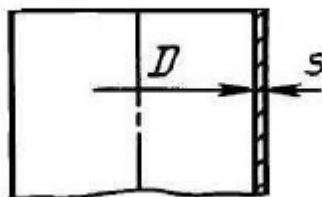


Рисунок 4.1 Расчетная схема обечайки

Расчет ведем по [5].

Диаметр аппарата:

$$D_{\text{вн}} := 200 \text{ мм}$$

$$s_p := \max \left( \left| \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p - P_p} \\ \frac{P_{\text{ги}} \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p - P_{\text{ги}}} \end{array} \right. \right) = 0.383 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_c := \text{ceil}(s_p + c) = 3 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s_{\text{исп}} := 5 \text{ мм}$$

$$usl_1 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \left( \frac{s_{\text{исп}} - c}{D_{\text{вн}}} \right) < 0.1 \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$usl_1 = \text{"Условие выполняется"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляется по формуле:

$$P_{\text{д}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p \cdot (s_{\text{исп}} - c)}{D_{\text{вн}} + 0.5 \cdot (s_{\text{исп}} - c)} = 5.836 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление гидроиспытаний рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{ди}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p \cdot (s_{\text{исп}} - c)}{D_{\text{вн}} + 0.5 \cdot (s_{\text{исп}} - c)} = 5.836 \quad \text{МПа}$$

По условию рабочее давление  $P = 0,6$  МПа, а рассчитанное допускаемое давление  $P_{\text{д}} = 5,06$  МПа, следовательно допустимо нагружать обечайку рабочим давлением  $P = 0,6$  МПа.

Расчет толщины стенки эллиптической крышки корпуса аппарата. На рисунке 4.2 представлена расчетная схема эллиптической крышки аппарата.

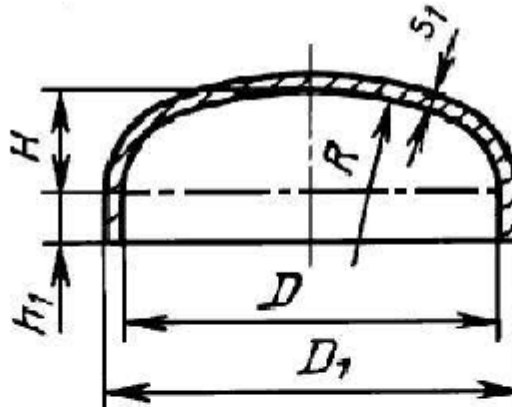


Рисунок 4.2 Расчетная схема эллиптической крышки

Расчет ведем по [5].

$$D_{\text{внкож}} := 200 \quad \text{мм}$$

Высота эллиптической крышки должна быть найдена из допуска:

$$0.2 < \frac{H}{D} < 0.5$$

где  $H$  высота эллиптической крышки в мм.

$$H_k := 0.25 \cdot D_{\text{внкож}} = 50 \quad \text{мм}$$

$$R_k := \frac{D_{\text{внкож}}^2}{4 \cdot H_k} = 200 \quad \text{мм}$$

Расчитаем исполнительную толщину крышки:

$$s_{\text{ЭК}} := \max \left( \left| \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot R_k}{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p - 0.5 P_p} \\ \frac{P_{\text{ГИ}} \cdot R_k}{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p - 0.5 P_{\text{ГИ}}} \end{array} \right. \right) = 0.383$$

$$s_{\text{ИСПК}} := s_{\text{ЭК}} + c = 2.383 \quad \text{мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учетом ряда стандартных толщин:

$$s_k := 5 \quad \text{мм}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле:

$$P_{\text{ДК}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p \cdot (s_k - c)}{R_k + 0.5 \cdot (s_k - c)} = 5.836 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое избыточное давление при гидроиспытаниях вычисляется по формуле:

$$P_{\text{ДКИ}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д20}} \cdot \phi_p \cdot (s_k - c)}{R_k + 0.5 \cdot (s_k - c)} = 5.836 \quad \text{МПа}$$

---


$$\text{usl}_2 := \left| \begin{array}{ll} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \frac{s_k - c}{D_{\text{ВНКОЖ}}} > 0.002 \\ \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \frac{s_k - c}{D_{\text{ВНКОЖ}}} < 0.1 \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\text{usl}_2 = \text{"Условие выполняется"}$$

### 4.3 Расчет укрепления отверстий

Расчет укрепления отверстий в цилиндрической обечайке

Расчет по [9]

Исходные данные:

$D_{вн} = 200$  мм внутренний диаметр цилиндрической обечайки

$P_p = 0.6$  МПа внутреннее давление на цилиндрическую обечайку

$t_{раб} = 15$  °С Расчетная температура

$s_{исп} = 5$  мм исполнительная толщина стенки

$d_1 := 150$  мм диаметр отверстия

$c = 2$  мм прибавка расчетной толщины стенки

$\phi_p = 1$  коэффициент прочности сварных швов

$\sigma_{д20} = 196$  МПа допускаемое напряжение стали при 20 С

$R_{p1.0} := 300$  МПа максимальное значение предела текучести при 20 С

$\sigma_{д} = 196$  МПа допускаемое напряжение для стали при расчетной температуре

$\sigma_{20} := \text{Floor}(\sigma_{д}, 0.5) = 196$  МПа Допускаемое напряжение для стали при нормальных условиях



$P_{\text{ги}} = 0.75$  Давление при гидроиспытаниях

Расчетные внутренние диаметры укрепляемых элементов определяем согласно [9]:

Для штуцера на цилиндрической обечайке:

$$D_{p1} := D_{\text{вн}} = 200$$

Расчетные диаметры отверстия для входа газа:

$$d_{p1} := d_1 + 2 \cdot c = 154$$

На рисунке 4.3 представлена расчетная схема укрепления отверстий:

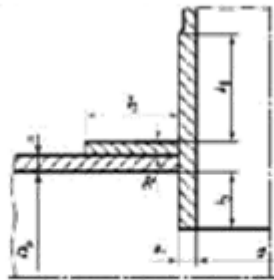


Рисунок 4.3 Расчетная схема укрепления отверстий

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или сварного кольца:

$$l_p := \sqrt{D_{p1} \cdot (s_{\text{исп}} - c)} = 24.495$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$\text{usl}_3 := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D_{p1}} \geq 1 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{s_{\text{исп}} - c}{D_{p1}} \geq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{usl}_3 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

$s_p = 0.383$  Расчетная толщина стенки

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_0 := 2 \cdot \left( \frac{s_{\text{исп}} - c}{s_p} \right) \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s_{\text{исп}} - c)} = 383.345$$

Проверка условий необходимости дальнейшего расчета укреплений отверстий в цилиндрической обечайке:

$$\text{usl}_4 := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_{p1} \\ \text{"Требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{usl}_4 = \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"}$

#### Расчет укрепления отверстий в эллиптической крышке

Исходные данные для расчета были приведены выше.

Расчетные внутренние диаметры укрепляемых элементов определяем согласно [9]:

Для штуцера на эллиптической крышке:

$x := 0$  мм Расстояние от оси крышки до оси укрепляемого штуцера

$$D_{p2} := \frac{D_{\text{вн}}^2}{2 \cdot H_k} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{D_{\text{вн}}^2 - 4 \cdot H_k^2}{D_{\text{вн}}^4} \cdot x^2} = 400$$

Расчетные диаметры отверстий:

$d_2 := 50$  мм Диаметр отверстия в эллиптической крышке

$$d_{p2} := \frac{d_2 + 2 \cdot c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_{p2}}\right)^2}} = 54$$

Расчетные длины штуцеров:

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца:

$$l_{p2} := \sqrt{D_{p2} \cdot (s_{исп} - c)} = 34.641$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$usl_5 := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_{p2} - 2 \cdot c}{D_{p2}} \geq 1 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{s_{исп} - c}{D_{p2}} \geq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$usl_5 =$  "Условия применения формул выполняются"

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_{02} := 2 \cdot \left( \frac{s_{исп} - c}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p2} \cdot (s_{исп} - c)} = 486.706 \quad \text{мм}$$

Проверка условий необходимости дальнейшего расчета укреплений отверстий:

$$usl_6 := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_{02} \geq d_{p2} \\ \text{"Требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$usl_6 =$  "НЕ требуется укрепление отверстий"

#### 4.4 Расчет фланцевого соединения

Расчет фланцевого соединения, соединяющего эллиптическую крышку и цилиндрическую обечайку по [6].

Материал обечаек и фланцев сталь 09Г2С.

Материал болтов сталь 40Х по ОСТ 26-291-94.

Материал прокладки паронит маслобензостойкий по ГОСТ 481-80, т.к. среда относительно агрессивна, а также материал подходит по таким параметрам как давление и температура.

Среда взрывоопасна, поэтому уплотнительная поверхность выбрана типа шип-паз.

На рисунке 4.4 представлена расчетная схема фланцевого соединения типа шип-паз:

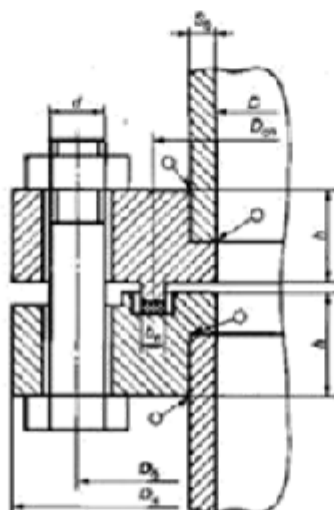


Рисунок 4.4 фланцевое соединение типа шип-паз

$D_{вн} = 200$  мм Диаметр обечайки и крышки

$n := 8$  шт количество шпилек

$t_{раб} = 15$  °С температура при которой работает фланец

$P_{ги} = 0.75$  Максимальное давление действующее на фланец  
(давление гидроиспытаний)

$D_{ф} := 335$  мм диаметр фланца

$D_{бo} := 295$  мм диаметр болтовой окружности

$h := 21$  мм Толщина тарелки фланца

$D_{\text{шп}} := 20$  мм Номинальный диаметр шпилек

$D_{\text{нпр}} := 260$  мм Наружный диаметр прокладки

$s_{\text{исп}} = 5$  толщина стенки корпуса

$M := 0$  Н\*м Изгибающий момент

$F := 0$  Н Осевая растягивающая сила.

Шпильки М20

### Расчетные температуры:

Расчетная температура неизолированных фланцев:

$$t_{\text{ф}} := 0.96 \cdot t_{\text{раб}} = 14.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетная температура шпилек:

$$t_{\text{ш}} := 0.85 \cdot t_{\text{раб}} = 12.75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение для материала шпилек (сталь 40X):

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{ш}}), 0.5) = 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при рабочей температуре:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 2.14 \cdot 10^5 \\ 2.14 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_{\text{б}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, E, t_{\text{ш}}), 0.01) = 2.14 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 40X при  $t=20-400 \text{ } ^\circ\text{C}$ :

$$\alpha_{\text{ш}} := 13.4 - 10^{-6} \frac{1}{\text{К}}$$

Поскольку фланцы изготавливаются из того же материала, что и обечайка, то расчетные значения примем такими же как и для материала обечайки.

$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5$  МПа Модуль упругости для стали 09Г2С при 20 С

$E_p := 1.99 \cdot 10^5$  МПа Модуль упругости для стали 09Г2С при рабочей температуре

$\alpha_{\Phi} := 12.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{К}}$  Коэффициент линейного расширения для стали 09Г2С при  $t=20-200$  С

Из рекомендации ГОСТ 481-80 выбираем толщину прокладки 3 мм.

Эффективная ширина плоской прокладки:

$$b_{\Pi} := 22 \text{ мм}$$

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\Pi} & \text{if } b_{\Pi} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \cdot \sqrt{b_{\Pi}}, 1) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b_0 = 18$$

Характеристики прокладки по ГОСТ 481-80:

$m := 2.5$  Прокладочный коэффициент

$q_{обж} := 20$  МПа Удельное давление обжатия прокладки

$q_d := 130$  МПа Довускаемое удельное давление

$K_{обж} := 0.9$  Коэффициент обжатия

**Условный модуль сжатия прокладки**

Усилие необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$D_{сп} := D_{нпр} - b_0 = 242 \text{ мм}$$

$$P_{обж} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P_{ги}| = 1.283 \times 10^4 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения:

---

$$R_{п} := \begin{cases} \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P_{ги}| & \text{if } P_{ги} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{п} = 2.566 \times 10^4$$

Площадь поперечного сечения шпилек по приложению Д.1 [6]:

$$f_{\bar{6}} := 225 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра:

$$A_{\bar{6}} := n \cdot f_{\bar{6}} = 1.8 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := 0.785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P_{\text{ги}} = 3.448 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$Q_{\text{FM}} := F + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{сп}}} = 0$$

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев:

$$b := 0.5 \cdot (D_{\text{бо}} - D_{\text{сп}}) = 26.5 \quad \text{мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев:

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D_{\text{вн}} - s_{\text{исп}}) = 18.5 \quad \text{мм}$$



Податливость прокладки:

$$h_{\Pi} := 3 \text{ мм}$$

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\sigma} \cdot \pi \cdot D_{\text{сП}} \cdot b_0} = 9.22 \times 10^{-10}$$

---

$L_{\sigma_0} := 70$  мм Длина шпильки найдена исходя из толщины фланцев и прокладки

$d_{\text{ш}} := 20$  мм внешний диаметр, т.к. была выбрана шпилька М20

$$L_{\sigma} := L_{\sigma_0} + 0.56 \cdot d_{\text{ш}} = 81.2$$

Податливость шпилек:

$$y_{\text{ш}} := \frac{L_{\sigma}}{E_{\sigma} \cdot A_{\sigma}} = 2.108 \times 10^{-7} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расчетные параметры фланцев:

Параметр длины обечайки:

$s_{\text{исп}} = 5$  толщина стенки обечайки в мм

$$l_0 := \sqrt{D_{\text{вн}} \cdot s_{\text{исп}}} = 31.623 \text{ мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_{\phi}}{D_{\text{вн}}} = 1.675$$

$$\beta_{\text{T}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.635$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 4.331$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0.69 + \frac{5.72 \cdot K^2 \cdot \log(K)}{K^2 - 1} \right) = 3.972$$

---


$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 2.108$$

Коэффициенты для фланцевых соединений с приварным встык, с прямой втулкой, плоскими и свободными фланцами:

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.33 \quad f := 1$$

Коэффициент  $\lambda$ :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_{\text{исп}}^2} = 1.874$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$Y_{\Phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{\lambda \cdot l_0 \cdot s_{\text{исп}}^2 \cdot E_{20}} = 1.019 \times 10^{-9} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$Y_{\Phi H} := \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{\text{бo}}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_{\Phi}} = 2.315 \times 10^{-10} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Коэффициент учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F := \max \left[ 1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{\text{бo}}}{n \cdot \left( 2 \cdot d_{\text{ш}} + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] = 1.189$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык фланцев:

$$\gamma_1 := \frac{1}{y_{\Pi} \cdot y_{\text{ш}} \cdot \frac{E_{\sigma}}{E_{\sigma}} + 2 \cdot b^2 \cdot Y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = \begin{pmatrix} 7.517 \times 10^5 \\ 7.517 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык с плоскими прокладками:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot Y_{\phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\text{ш}} + 2 \cdot b^2 \cdot Y_{\phi}} = 1.608$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_{\text{ш}} + 2 \cdot Y_{\phi_{\text{н}}} \cdot b \cdot \left( b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\text{ш}} + y_{\Pi} \cdot \left( \frac{D_{\text{бo}}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot Y_{\phi_{\text{н}}} \cdot b^2} = 1.388$$

Нагрузка вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварным встык фланцами:

$$\begin{aligned} \alpha_{\phi 1} &:= \alpha_{\phi} & \alpha_{\phi 2} &:= \alpha_{\phi 1} & \alpha_{\text{ш}1} &:= \alpha_{\text{ш}} & h_{\text{ш}} &:= 3 & t_{\phi 1} &:= t_{\phi} \\ h_1 &:= h & h_2 &:= h_1 & \alpha_{\text{ш}2} &:= \alpha_{\text{ш}1} & t_{\phi 2} &:= t_{\phi 1} \end{aligned}$$

$$Q_t := \gamma_1 \cdot [(\alpha_{\phi 1} \cdot h_1 + \alpha_{\text{ш}1} \cdot h_{\text{ш}}) \cdot (t_{\phi 1} - 20) + (\alpha_{\phi 2} \cdot h_2 + \alpha_{\text{ш}2} \cdot h_{\text{ш}}) \cdot (t_{\phi 2} - 20) - \alpha_{\text{ш}} \cdot (h_1 + h_2) \cdot (t_{\text{ш}} - 20)]$$

$$Q_t = \begin{pmatrix} 5.01 \times 10^8 \\ 5.01 \times 10^8 \end{pmatrix}$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения:

$$P_{\bar{6}1} := \max \left[ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M}{D_{сп}}, \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot M}{D_{сп}} - Q_t \right]$$

$$P_{\bar{6}1} = 8.109 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$P_{\bar{6}2} := \max(P_{обж}, 0.4 \cdot A_{\bar{6}} \cdot \sigma_{д,\bar{6}}) = 1.656 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\bar{6}M} := \max(P_{\bar{6}1}, P_{\bar{6}2}) = 1.656 \times 10^5$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях:

$$P_{\bar{6}р} := P_{\bar{6}M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot M}{D_{сп}} = \begin{pmatrix} 5.012 \times 10^8 \\ 5.012 \times 10^8 \end{pmatrix}$$

**Проверка прочности шпилек и прокладки.**

Расчетные значения в шпильках при затяжке:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_6} = 92 \quad \text{МПа}$$

Расчетные значения в шпильках в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p.}}{A_6} = 228.889 \quad \text{МПа}$$

$$usl_7 := \begin{cases} \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности ВЫПОЛНЯЮТСЯ"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$usl_7 = \text{"Условия прочности ВЫПОЛНЯЮТСЯ"}$

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6p.})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{II}} = 24.633 \quad \text{МПа} \quad q_d = 130 \quad \text{МПа}$$

$$usl_8 := \begin{cases} \text{"Условия прочности прокладки НЕ выполняются"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$usl_8 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

**Расчет фланцев на статическую прочность:**

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец при затяжке:

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b = 5.216 \times 10^6 \quad \text{Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_p := C_F \cdot \max[P_{6p.} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e]$$

$$M_p = 1.374 \times 10^7 \quad \text{Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

Меридианальное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца:

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_{исп} - c)^2 \cdot D_{вн}} = 1.546 \times 10^3 \quad \text{МПа}$$

Напряжение в тарелке приварного встык фланца или плоского в условиях затяжки, радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rm} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D_\phi} \cdot M_M = 33.983 \quad \text{МПа}$$

Окружное напряжение:

$$\sigma_{Tm} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D_\phi} = 140.234 \quad \text{МПа}$$

Расчетные напряжения фланца в рабочих условиях:  
Меридианальные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с прямой втулкой и плоских фланцев:

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (s_{исп} - c)^2 \cdot D_{вн}} = 4.072 \times 10^3 \quad \text{МПа}$$

Максимальное меридианальное мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца:

$$\sigma_{0Mr}^0 := \max \left[ \frac{Q_d + F - \frac{4 \cdot M}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D_{вн} + s_{исп}) \cdot (s_{исп} - c)}, \frac{Q_d + F + \frac{4 \cdot M}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D_{вн} + s_{исп}) \cdot (s_{исп} - c)} \right]$$

$$\sigma_{0Mr} = 17.846 \quad \text{МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного встык или плоского фланца в рабочих условиях:  
радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D_\phi} \cdot M_p = 89.486 \quad \text{МПа}$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{0Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D_\phi} = 369.274 \quad \text{МПа}$$

PR1 := "Условия статической прочности при затяжке не выполняются"

PR2 := "Условия статической прочности в рабочих условия не выполняются"

PR3 := "Условия статической прочности выполняются"

КТ := 1 коэффициент, учитывающий стесненность температурных деформаций

$$\sigma_R := 3 \cdot \sigma_d = 588 \text{ МПа}$$

$$\sigma_0 := 1.3 \cdot \sigma_R = 764.4 \text{ МПа}$$

$$\text{uslg} := \begin{cases} \text{PR1} & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{Rm}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{Tm}|) > \text{КТ} \cdot \sigma_0, \\ \text{PR2} & \text{if } \max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{0Tp}|, |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}|) > \text{КТ} \cdot \sigma_0, \\ \text{PR3} & \text{otherwise} \end{cases}$$

uslg = "Условия статической прочности выполняются"

## 4.5 Расчет веса аппарата

Исходные данные

$$D_H := 0.21 \text{ м наружный диаметр аппарата}$$

$$D_{BH} := 0.2 \text{ м внутренний диаметр аппарата}$$

$$H_a := 0.9 \text{ м высота аппарата}$$

$$\rho_{ст} := 7850 \text{ кг/м}^3 \text{ плотность стали 09Г2С}$$

$$V_1 = 0.028 \text{ м}^3 \text{ объем аппарата}$$

$$\rho_B := 1000 \text{ кг/м}^3 \text{ плотность воды}$$

$$g := 9.8 \text{ м/с}^2 \text{ ускорение свободного падения}$$

Расчитываем вес, обечайки крышки и днища

$$G_1 := \frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - D_{BH}^2) \cdot H_a \cdot \rho_{ст} \cdot g = 222.952 \text{ Н}$$

Прибавка веса на фланцы, патрубки, внутреннее оборудование примем равной 0,4 от G1:

$$G_2 := G_1 \cdot 0.4 = 89.181 \text{ Н}$$

Общий вес обечайки, крышки, днища и фланцев, а также внутреннего оборудования:

$$G_{12} := G_1 + G_2 = 312.133 \text{ Н}$$

Вес воды при проведении гидроиспытаний:

$$G_{\text{H}_2\text{O}} := V_1 \cdot \rho_{\text{В}} \cdot g = 277.088 \quad \text{Н}$$

Общий вес аппарата:

$$G_{\text{sum}} := G_{12} + G_{\text{H}_2\text{O}} = 589.222 \quad \text{Н}$$

Вес приходящийся на одну опору:

$$G_{\text{опор}} := \frac{G_{\text{sum}}}{3} = 196.407 \quad \text{Н}$$

---

### Расчет и подбор опор

Расчет ведем по ГОСТ 34233.5-2017

$$D_{\text{вн}} = 200 \quad \text{мм диаметр аппарата}$$

$$s_{\text{исп}} = 5 \quad \text{мм толщина стенки обечайки}$$

$$c = 2 \quad \text{мм прибавка к толщине стенки}$$

$$G_{\text{опор}} = 196.407 \quad \text{Н вес приходящийся на одну опору}$$

$$M = 0 \quad \text{Н*мм изгибающий момент, действующий на обечайку в сечении, где расположены опоры}$$

$$d_4 := 140 \quad \text{мм диаметр опорной окружности}$$

$$b_1 := 60 \quad \text{мм диаметр несущего ушка в основании}$$

$$\alpha := 23.4 \cdot \text{deg} \quad \text{град угол наклона меридиональной касательной у опорной окружности}$$

$$k := 15 \quad \text{мм скос ребра опорной пластинчатой стойки}$$

$$p_1 := 0.6 \quad \text{МПа расчетное давление}$$

$$b := 40 \quad \text{мм длина плиты основания опорной стойки}$$

$$\phi := 1 \quad \text{коэффициент прочности сварных швов}$$

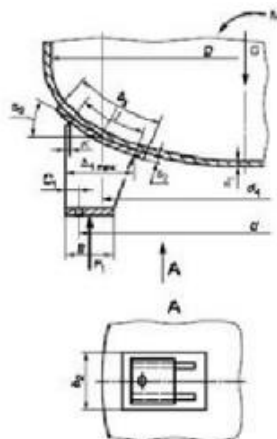


Рисунок 4.5 Расчетная схема опорной стойки



Для равномерно распределения на опору назначаем количество стоек:

$$n_c := 3$$

Длина линии контакта опоры с днищем согласно ГОСТ:

$$l := \frac{(b_1 - k)}{\cos(\alpha)} = 49.033 \quad \text{мм}$$

Проверка условия использования длины линии контакта:

$$usl_{10} := \begin{cases} \text{"Условие использования длины линии контакта выполняется"} & \text{if } \left( 0.01 \leq \frac{1}{l} \leq 0.35 \right) \\ \text{"Условие использования длины линии контакта НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$usl_{10} = \text{"Условие использования длины линии контакта выполняется"}$$

Расчетные усилия

Вертикальные усилия на одну опору:

$$F_2 := G_{\text{опор}} + \frac{M}{0.75 \cdot d_4} = 196.407 \quad \text{Н}$$

Изгибающий момент, передаваемый опорой на днище:

$$M_1 := \frac{F_2 \cdot (b_1 - b + k)}{2} = 3.437 \times 10^3 \quad \text{Н/мм}^2$$

Проверка несущей способности эллиптического днища:

Допускаемое нормальное усилие, действующее по нормали к неподкрепленному эллиптическому днищу:

$$k_{20} := 93 \quad \text{коэффициент определяем по [10, рис. 13]}$$

$$\sigma_{\text{д}} = 196 \quad \text{МПа допускаемое напряжение при расчетной температуре}$$

$$F_{1д} := 0.25 \cdot k_{20} \cdot \sigma_d \cdot (s_{исп} - c)^2 \cdot \left( 0.2 + \frac{d_4}{D_{вн}} \right) = 3.691 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Допускаемый изгибающий момент для неподкрепленного эллиптического днища:

$$k_{21} := 9.7 \quad \text{коэффициент определяем по [10, рис. 14]}$$

$$M_{1д} := 0.25 \cdot k_{21} \cdot \sigma_d \cdot (s_{исп} - c)^2 \cdot D_{вн} \cdot \left( 0.2 + \frac{d_4}{D_{вн}} \right) = 7.7 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление

$$p_{1д} := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi \cdot (s_{исп} - c)}{D_{вн} + (s_{исп} - c)} = 5.793 \quad \text{МПа}$$

$$usl_{11} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \frac{F_2 \cdot \sin(\alpha)}{F_{1д}} + \frac{M_1}{M_{1д}} + \frac{p_1}{p_{1д}} \leq 1 \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$usl_{11} = \text{"Условие выполняется"}$$

**Следовательно несущая способность днища в месте приварки соответствует норме.**

## **5. Разработка методики защиты от превышения давления для газового сепаратора**

С каждым годом химическая промышленность все более и более усложняется и модернизируется, данные мероприятия неотъемлемо сопровождаются увеличением мощностей установок и аппаратов, усложнением режим работы производств. Из-за действия этих факторов защита производственного оборудования становится на первое место.

В химической, нефтехимической промышленности, а также на объектах подготовки и переработки нефти используется оборудование, работающее под избыточным давлением. В соответствии с [22] сосуды, работающие под давлением должны быть оснащены предохранительными устройствами от превышения давления выше разрешенного.

При эксплуатации технологического оборудования не редко возникают ситуации, когда давление внутри сосуда превышает разрешенного значения. Чтобы избежать разрыв сосуда и увеличить срок эксплуатации необходимо устанавливать предохранительные устройства, работающие по принципу сброса из аппарата излишнего количества среды.

### **5.1 Обоснование актуальности выбранной темы**

Актуальность данной темы выражена необходимостью обеспечения безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Применение предохранительных клапанов является обязательным условием в промышленности.

Задачей курсового проекта является разработка пошаговой методики расчета и подбора предохранительного клапана в среде MathCAD.

## **5.2 Характеристика современного состояния проблемы**

В настоящее время в мире стали чаще уделять внимание таким аспектам как защита окружающей среды, безопасность жизнедеятельности и охрана труда. Целью является поднятие этих аспектов на более высокий уровень

Одним из типов аварий на производстве являются разгерметизация и взрывы в результате превышения давления внутренней среды.

Часто, когда давление выходит за рамки рабочего диапазона аппарат разгерметизируется и даже может полностью разрушиться.

Одним из способов защиты является использование предохранительных устройств. На их основе разрабатывается план мероприятий по предупреждению и предотвращению опасных ситуаций.

В Американском нефтяном институте (American Petroleum Institute – API), разработана система технического регулирования в области систем аварийного сброса, который является международным стандартом и распространяется на устройства сброса давления, применяемого в системах нефтепереработки, химических производств и в других подобных системах, рассчитанных на максимально допустимое рабочее давление[23].

Российские компании, которые используют оборудование, работающее под избыточным давлением, все чаще требуют от своих поставщиков, чтобы оборудованием соответствовало нормам и стандартам API. В последнее время участились случаи, когда фирмы, не имеющие данного сертификата, не допускаются к международным и российским тендерам. Требования данного стандарта распространяются и на предохранительные устройства.

В России существует нормативно – технический документ ГОСТ 12.2.085 – 2002 [24], который также используют при проектировании предохранительных устройств. Но поскольку он имеет ряд недостатков (не обеспечивает в необходимой мере безопасное ведение опасных технологических производств, ошибки допускаются как на стадии проектирования, так и сооружения объектов

и их эксплуатации многие фирмы отдают предпочтение международным стандартам.

### **5.3 Защита от превышения давления**

Аппараты, в которых есть вероятность повышения давления, представляют собой большую опасность при работе, из-за вероятности разрушения под действием давления рабочей среды. Следовательно, когда есть вероятность превышения рабочего давления аппарат должен быть защищен от разрушения с помощью специальных предохранительных устройств, принцип работы которых заключается в сбросе избытка среды в атмосферу.

Источниками аварийного роста давления в аппаратах могут быть различные случаи:

- а) поступление в аппарат среды при закрытом выходе из него;
- б) обогрев или нарушение охлаждения аппарата, в результате чего происходит нагрев газа или пара, испарение жидкости в нем или интенсификация химической реакции;
- в) взрыв среды в аппарате.

Причинами аварийного повышения давления могут являться:

- а) ошибки обслуживающего персонала;
- б) отказ запорно-регулирующей арматуры;
- в) нарушение функционирования системы автоматического управления;
- г) внезапное разрушение внутренних устройств аппарата: труб, змеевиков, рубашек и др.;
- д) замерзание охлаждающей воды;
- е) выход из-под контроля химических реакций;
- ж) интенсивный нагрев поверхности аппарата от внешнего источника, например в результате пожара, солнечной радиации и т. п. [,,,]

## 5.4 Разработка методики расчета предохранительного клапана в среде MathCAD

В данной программе была разработана программа расчета и подбора и подобран предохранительный клапан для защиты от превышения давления такого аппарата, как двухфазный сепаратор.

Исходные данные для расчета:

Рабочее давление среды:

$$p_p := 0.6 \quad \text{МПа}$$

Давление сброса:

$$p_2 := 0 \quad \text{МПа}$$

Молярная масса попутного нефтяного газа (далее ПНГ), кг/моль:

$$M := 23.07$$

Температура в аппарате, К:

$$T_{\text{сист}} := 15 + 273 = 288$$

Количество вещества подаваемого в аппарат, кг/ч:

$$m_B := 910$$

Коэффициент сжимаемости ПНГ:

$$z := 1$$

Объемные доли компонентов газовой смеси, %[6]:

1. Метан:

$$y_1 := 0.4836$$

2. Этан:

$$y_2 := 0.1244$$

3. Пропан:

$$y_3 := 0.2219$$

4. И-бутан:

$$y_4 := 0.0338$$

5. Н-бутан:

$$y_5 := 0.0874$$

6. И-пентан:

$$y_6 := 0.0192$$

7. Н-пентан: +

$$y_7 := 0.0175$$

8. Н-гексан:

$$y_8 := 0.01$$

9. Н-гептан:

$$y_9 := 0.0001$$

10. Диоксид углерода:

$$y_{10} := 0.021$$

Критические температуры компонентов, К[7, табл. П4]:

1. Метан:

$$t_{кр1} := 190.5$$

2. Этан:

$$t_{кр2} := 305.3$$

3. Пропан:

$$t_{кр3} := 369.8$$

4. И-бутан:

$$t_{кр4} := 407.9$$

5. Н-бутан:

$$t_{кр5} := 425$$

---

6. И-пентан:

$$t_{кр6} := 469.78$$

7. Н-пентан:

$$t_{кр7} := 433.6$$

8. Н-гексан:

$$t_{кр8} := 489.2$$

9. Н-гептан:

$$t_{кр9} := 540$$

10. Диоксид углерода:

$$t_{кр10} := 304.4$$

Критическое давление компонентов, МПа:

1. Метан:

$$p_{кр1} := 4.64$$

2. Этан:

$$p_{кр2} := 4.86$$

3. Пропан:

$$p_{кр3} := 4.27$$

4. И-бутан:

$$p_{кр4} := 3.65$$

5. Н-бутан:

$$p_{кр5} := 3.89$$

6. И-пентан:

$$p_{кр6} := 3.37$$

7. Н-пентан:

$$p_{кр7} := 3.2$$

8. Н-гексан:

$$p_{кр8} := 3.11$$

9. Н-гептан:

$$p_{кр9} := 2.88$$

10. Диоксид углерода:

$$p_{кр10} := 7.53$$

**Решение:**

Расчет выполнен в соответствии с ГОСТ 12.2.085-2002[3].

Максимально допустимое давление в аппарате при срабатывании ПУ согласно Правилам Ростехнадзора, составляет:

$$p_1 := p_p + 0.05 = 0.65$$

Показатель изоэнтропы при нормальных условиях для многокомпонентных газов равен:

$$k_H := 1.3$$



Определяем критические характеристики ПНГ по правилам аддитивности, согласно формулам представленным в таблице П4[7]:

Расчитаем критическую температуру газовой смеси, К:

$$t_{кр.см1} := (t_{кр1} \cdot y_1) + (t_{кр2} \cdot y_2) + (t_{кр3} \cdot y_3) + (t_{кр4} \cdot y_5) + (t_{кр6} \cdot y_6)$$

$$t_{кр.см2} := (t_{кр7} \cdot y_7) + (t_{кр8} \cdot y_8) + (t_{кр9} \cdot y_9) + (t_{кр10} \cdot y_{10})$$

$$t_{кр.см} := t_{кр.см1} + t_{кр.см2} = 275.76$$

Расчитаем критическое давление газовой смеси, МПа:

$$P_{кр.см1} := (P_{кр1} \cdot y_1) + (P_{кр2} \cdot y_2) + (P_{кр3} \cdot y_3) + (P_{кр4} \cdot y_4) + (P_{кр5} \cdot y_5)$$

$$P_{кр.см2} := (P_{кр6} \cdot y_6) + (P_{кр7} \cdot y_7) + (P_{кр8} \cdot y_8) + (P_{кр9} \cdot y_9) + (P_{кр10} \cdot y_{10})$$

$$P_{кр.см} := P_{кр.см1} + P_{кр.см2} = 4.57$$

Температура ПНГ при давлении  $p_1$ , К:

$$T_1 := \left[ T_{сист} \cdot \frac{(p_1 + 0.1)}{(p_p + 0.1)} \right] \cdot \frac{(k_H - 1)}{k_H} = 71.209$$

Определяем приведенные параметры:

Приведенное давление, МПа:

$$\pi_1 := \frac{(p_1 + 0.1)}{P_{кр.см}} = 0.164$$

Приведенная температура, К:

$$\tau_1 := \frac{T_1}{t_{кр.см}} = 0.258$$

Отношение приведенного давления к приведенной температуре:

$$\frac{\pi_1}{\tau_1} = 0.636$$
$$k := \begin{cases} 1.3 & \text{if } \frac{\pi_1}{\tau_1} \geq 0.5 \\ \left( \frac{\pi_1}{\tau_1} \leq 0.5 \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k = 1.3$$

Определяем критическое отношение давлений по формуле:

$$\beta_a := \left[ \frac{2}{(k+1)} \right]^{\frac{k}{k-1}} = 0.546$$

При истечении среды из отверстия с острыми кромками, каковыми являются ПУ, максимальный расход устанавливается при меньшем отношении давлений.

Для предохранительных клапанов установлено, что:

$$\beta_{\text{кл}} := 0.57 \cdot \beta_a = 0.311$$

Критическое истечение с постоянным максимальным расходом происходит при отношении давлений за и перед ПУ:

$$\beta := \frac{p_2 + 0.1}{p_1 + 0.1} = 0.133$$

Определяем коэффициент докритического расхода  $B_2$ , учитывающий соотношение давлений за и перед ПУ. При максимальном критическом расходе среды  $\beta \leq \beta_{\text{кл}}$  коэффициент  $B_2=1$  [5, стр. 50].

$$B_2 := 1$$

Определяем коэффициент, учитывающий физико-химические свойства газов и паров при рабочих параметрах:

$$B_3 := 1.59 \cdot \sqrt{\frac{k}{k+1}} \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} = 0.75$$

Определяем коэффициент  $B_{1(z=1)}$ , учитывающий физико-химические свойства газов и паров при температуре и коэффициенте сжимаемости  $z=1$ :

$$B_{1z} := 5.46 \cdot B_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{M}{T_1}} = 2.813$$

Определим коэффициент  $B_{1a}$ , учитывающий физико-химические свойства газов и паров:

$$B_{1a} := \frac{B_{1z}}{\sqrt{z}} = 2.813$$

При  $m_B=910$  кг/ч находим произведение  $\alpha_1 \cdot F_r$ , мм<sup>2</sup>:

$$\alpha_1 F_r := \frac{m_B}{10 \cdot B_{1a} \cdot B_2 \cdot (p_1 + 0.1)} = 43.129$$

В качестве ПУ выбираем пружинный полноподъемный предохранительный клапан с  $\alpha_1=0,6$  по таблице П22 [7].

Площадь узкого сечения седла, мм<sup>2</sup>:

$$\alpha_1 := 0.6$$

$$F_{cR} := \frac{\alpha_1 F_r}{\alpha_1} = 71.882$$

Диаметр узкого сечения седла, мм:

$$d_{cR} := \sqrt{\frac{F_{cR}}{0.785}} = 9.569$$

Исходя из полученных данных  $d_{cR}=9,589$  мм и  $P_p = 0,6$  МПа, выбираем предохранительный пружинный полноподъемный клапан типа СППК4-16 на условное давление 1,6 МПа. Исполнение 17с13нж, характеристика среды Н - неагрессивная, диаметр седла  $d_c=30$  мм из приложения по таблице П5 [7].

Выполним проверку выбранного клапана по формуле Ростехнадзора:

При  $k = 1.3$  и  $\beta = 0,133$  определяем  $B$  по таблице П11 [7].

$$B := 0.503$$

Определяем площадь седла, мм<sup>2</sup>:

$$\rho_r := 1.332 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad [6]$$

$$F_c := \frac{m_B}{5.03 \cdot \alpha_1 \cdot B \cdot \sqrt{(p_1 + p_2)} \cdot \rho_r} = 644.237$$

Определяем диаметр ПК, мм:

$$d_{ПК} := \sqrt{\frac{F_c}{0.785}} = 28.648$$

---

$$\text{Условие} := \begin{cases} \text{"Выполняется"} & \text{if } d_{cR} \leq d_{ПК} \\ \text{"Не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Условие = "Выполняется"

Вывод:

Произведен расчет и подбор предохранительного пружинного полноподъемного фланцевого клапана типа СППК4-16.

Выполнена проверка выбранного клапана по формуле Ростехнадзора.

Расчетный диаметр ПК составил  $d_{ПК} = 28,648$ , что удовлетворяет условию.

Исполнение 17с13нж, характеристика среды Н – неагрессивная. Клапан работает при максимальной температуре  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  с условным давлением 1,6 МПа.

## Резюме по итогам расчетов оборудования

По итогам расчета фильтр-сепаратора мы имеем следующие данные:

- Проведен технологический расчет и по ТУ 3683-083-36214188-2013 подобран аппарат, подходящий по условиям технологического процесса. Также проведен механический расчет и подбор конструкционного материала, сталь 09Г2С. Внутренний диаметр аппарата равен 200 мм, заявленная пропускная способность 29480 м<sup>3</sup>/ч. Длина аппарата составляет 0.9 м, объем 0,028 м<sup>3</sup>. Толщина стенки составляет 5мм.
- Проведен расчет эллиптических крышки и днища.
- Проведен расчет необходимости укрепления отверстий, по итогам которого укрепления отверстий не требуется.
- Проведен расчет фланцевого соединения.
- Проведен расчет веса аппарата и подбор опор.

По итогам расчета газового сепаратора мы имеем следующие данные:

- Проведен технологический расчет и по ТУ 3683-014-00217389-97 подобран аппарат, подходящий по условиям технологического процесса. Также проведен механический расчет и подбор конструкционного материала, сталь 09Г2С. Внутренний диаметр аппарата равен 600 мм, заявленная пропускная способность 10210 м<sup>3</sup>/ч. Длина аппарата составляет 2.7 м, объем 0,763 м<sup>3</sup>. Толщина стенки составляет 5мм.
- Проведен расчет эллиптических крышки и днища.
- Проведен расчет необходимости укрепления отверстий, по итогам которого укрепления отверстий не требуется.
- Проведен расчет фланцевого соединения.
- Проведен расчет веса аппарата и подбор опор.

## **6 Автоматизированная система узла сепаратора**

### **6.1 Задачи и цели АСУ ТП**

АСУ ТП реализуются следующие задачи [38]:

- Осуществление централизованного контроля и управления технологическим процессом сепаратора пробкоуловителя;
- Предупреждение и предотвращение аварийных ситуаций на производстве;
- Повышение эффективности технологических процессов сепаратора.

Целями создания АСУ ТП являются:

- Стабилизация параметров технологического процесса;
- Увеличение объема производимой продукции;
- Снижение технико-экономических затрат;
- Увеличение качества подготавливаемого газа;
- Повышение компетенции инженерно-технического персонала;
- Повышение безопасности технологического процесса.

Проектируемая АСУ узла сепаратора пробкоуловителя (СПУ) состоит из газового сепаратора и емкости сбора конденсата.

Преимуществами горизонтальных аппаратов являются:

- Высокая степень сепарации газа за счет применения специальных насадок вне зависимости от давления;
- Большая производительность за счет простой, но эффективной конструкции;
- Возможность использования при поточном и пробковом поступлении газа;

## 6.2 Назначение системы

АСУ ТП предназначена для:

- Осуществления стабилизации заданных режимов технологического процесса посредством сбора информации о состоянии технологического процесса, её обработки, визуализации и выдаче необходимых управляющих воздействий на исполнительную арматуру в режиме реального времени;
- Анализа хода технологического процесса, предупреждения аварийных ситуаций и предотвращения аварий посредством переключения технологических узлов в безопасное состояние;
- Предоставления административно-техническому производственному персоналу необходимой информации о ходе технологического процесса.

## 6.3 Требования к техническому обеспечению

Комплекс технических средств АС должен быть достаточным для выполнения всех автоматизированных функций АС [39].

Технические средства, предназначенные для работы на открытых площадках, должны быть устойчивыми к воздействию окружающей среды и температур от -40 до + 60 °С, при этом их защищенность от пыли и влаги должна быть не менее IP56.

В программно-техническом комплексе автоматизированных систем должна быть возможность изменения системы, то есть должен быть резерв по каналам ввода и вывода не менее 20%.

Оборудование для измерения и исполнения, которое используется в системе, должно отвечать требованиям взрывобезопасности. При выборе датчиков лучше выбирать приборы с искробезопасными цепями.

Оборудование для контроля должно иметь модульную архитектуру, позволяющую свободную компоновку каналов ввода и вывода.

#### **6.4 Требования к метрологическому обеспечению**

Измерительные каналы (ИК) системы должны обеспечивать передачу информации с нормируемой точностью. В виде метрологической составляющей, подлежащей нормированию, берется предел допускаемой погрешности канала измерения в нормальных условиях (НУ).

Требуемые нормы погрешности измерения приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Требования к погрешности каналов измерения

Измеряемый параметр	Значение погрешности
Температура (разность температур)	$\pm 1,0\%$
Давление (разность давлений)	$\pm 1,0\%$
Уровень	$\pm 10$ мм

#### **6.5 Требования к программному обеспечению**

Программное обеспечение автоматизированной системы должно быть достаточным для выполнения всех функций автоматизированной системы, воплощаемых с использованием средств вычислительной техники, а также иметь средства организации всех необходимых процессов обработки данных, которые позволяют своевременно выполнять весь перечень автоматизированных функций, во всех регламентированных режимах функционирования АС [40].

Программное обеспечение системы должно иметь следующие свойства:

- Функциональная достаточность (полнота);
- Безотказность (в том числе восстанавливаемость, наличие средств вычисления ошибок);
- Гибкость системы (адаптируемость);



- Возможность модификации;
- Модульное строение системы;
- Удобство работы с системой.

## 6.6 Требования к информационному обеспечению

В состав информационного обеспечения должны входить следующие категории данных:

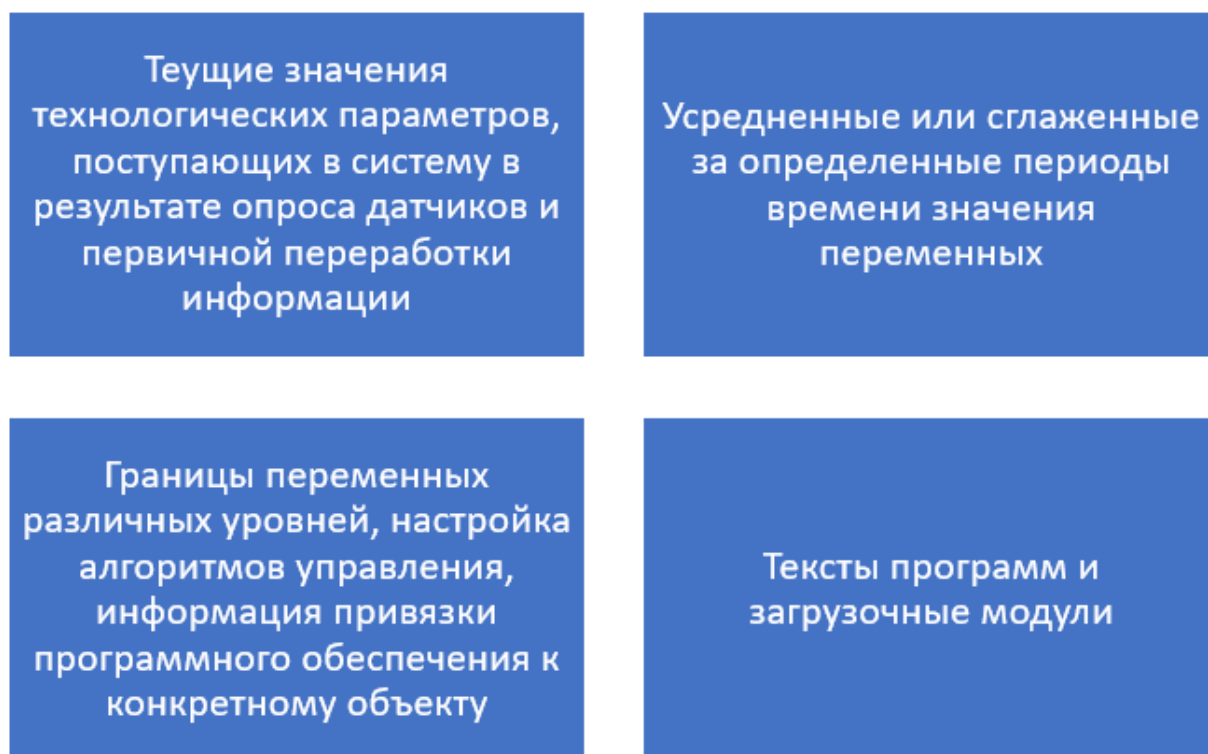


Рисунок 6.1 Состав информационного обеспечения

Для обмена информацией в рамках распределенной системы должна быть создана база данных, обеспечивающая доступ к данным с локальных элементов сети, которыми являются:

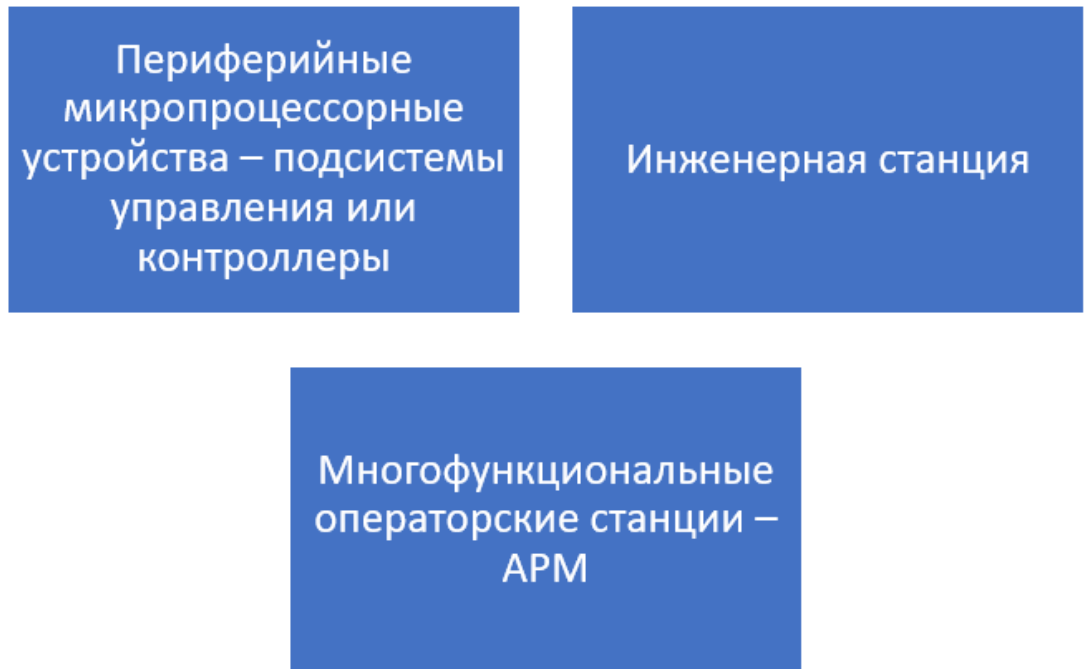


Рисунок 6.2 Локальные элементы сети

Для удобства работы операторов с большими объемами различной информации, и для выработки соответствующих стереотипов взаимодействия с системой, информационное обеспечение системы должно быть структурировано, и иметь иерархическую структуру.

## 6.7 Основная часть

### 6.7.1 Описание технологического процесса

Функциональная схема сепаратора приведена в альбоме схем. Автоматизируем сепаратор С-1.

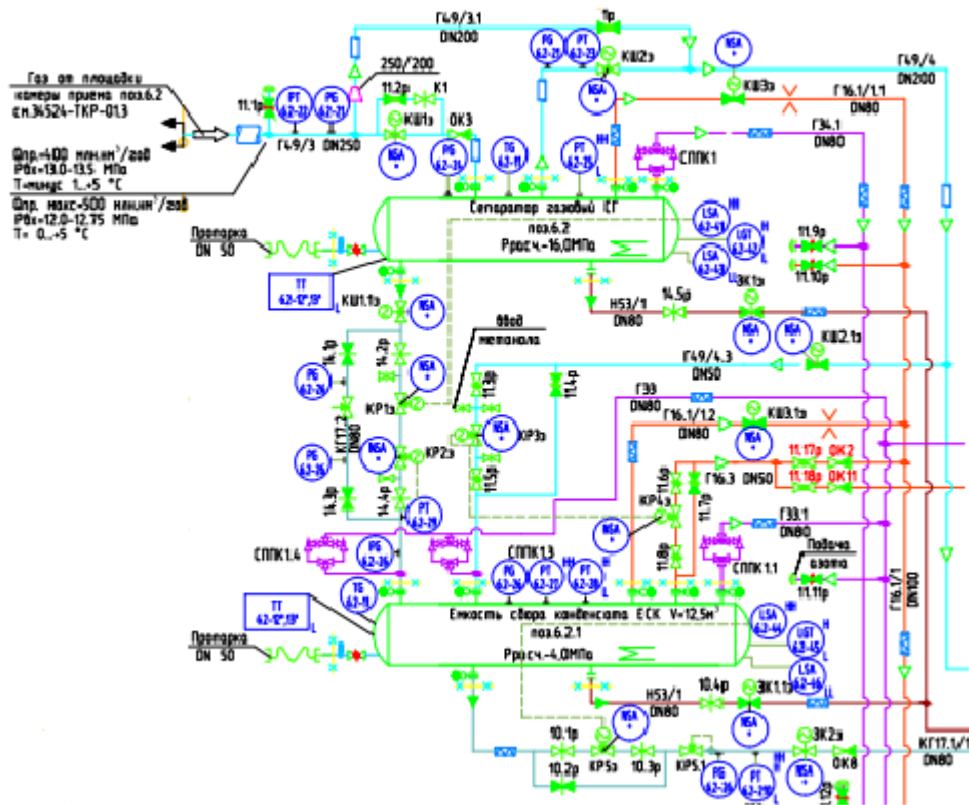


Рис. 6.3 Технологическая схема УСПУ

В сепараторе СГ для улавливания жидкости и механических примесей, последовательно расположены секция коагуляции, угольный отбойник, струнный каплеуловитель.

### 6.7.2 Разработка структурной схемы АС

Объектом управления считается узел сепаратора пробкоуловителя. В емкости исполняется застыл значения газожидкостной среды (ГЖС), температуры и давления. Исполнительными приборами считаются задвижки с электроприводом [41].

Специфичность всякой определенной системы управления ориентируется применяемой на любом уровне программно-аппаратной платформы.

Трехуровневая система АС представлена на рисунке 6.3.

### Структура трехуровневой распределенной АСУ ТП

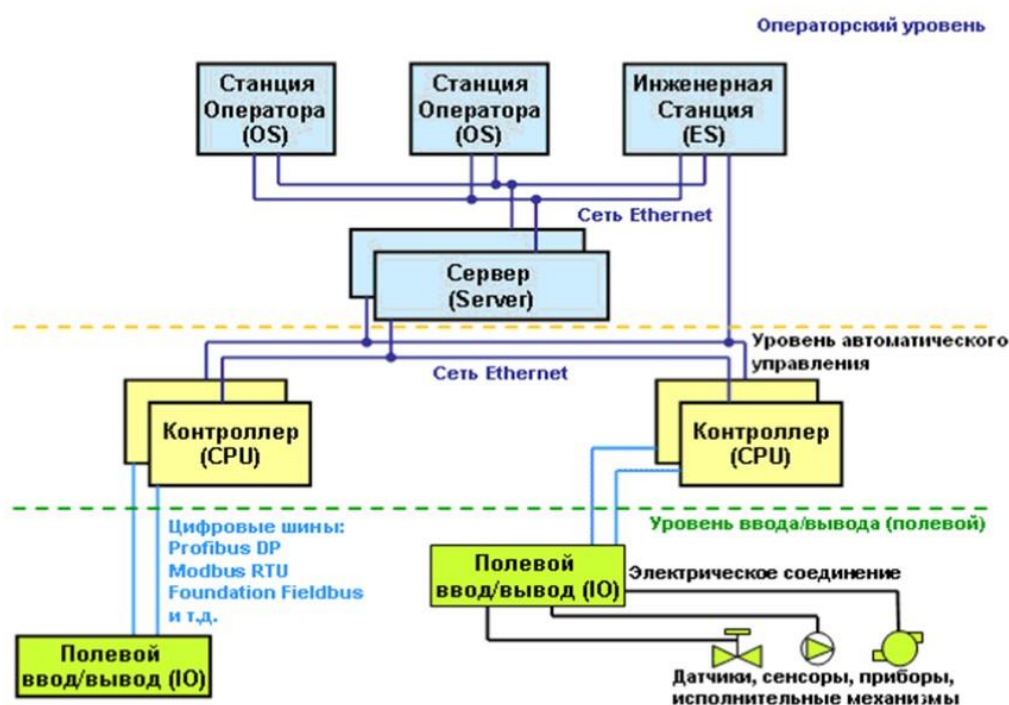


Рис. 6.3 Трехуровневая структура АС

Нижний уровень системы оформляют детекторы, приборы измерения технологических характеристик, приводы и исполнительные приборы, поставленные на технологическом оборудовании и предназначенные для сбора первичной инфы и реализации исполнительных воздействий. Данный уровень именуют уровнем ввода/вывода (I/O) или же полевым (Field) уровнем.

Приборы полевого значения имеют все шансы быть умственными, в данном случае замен информацией с ними имеет возможность быть именно по сети передачи данных.

Грядущий уровень системы – программируемые контроллеры. Они делают функцию конкретного самодействующего управления технологическими процессами. Управление исполнительными механизмами выполняется по

конкретным методом методом обработки данных о состоянии технологических характеристик, приобретенных при помощи измерительных устройств. Данный уровень получил название значения конкретного управления (Control).

Серверы технологических данных и автоматические трудящиеся пространства (АРМ) операторов технологических установок образуют например именуемую SCADA-систему, верхний уровень АСУ ТП.

Серверы обеспечивают работу SCADA-системы, поддерживая протокол обмена данными с технологическими приборами (контроллерами, умственными датчиками и исполнительными механизмами) и протокол работы с сетью индивидуальных компов. Ведущими функциями SCADA-системы считаются:



Рисунок 6.4 Функции SCADA-систем

В согласовании с прогрессивной идеологией главные задачи управления принимают решение на нижних уровнях системы, собственно что разрешает увеличить быстродействие системы и разгрузить вычислительную сеть от передачи лишней инфы. На верхние значения управления возлагаются лишь только те задачи, для выполнения коих вычислительные способы нижних значений не адаптированы, к примеру, отражение текущего состояния автоматизируемого изготовления, работа с гигантскими базами данных, документальное аккомпанемент работы фирмы и т.д.

### **6.7.3 Функциональная схема автоматизации**

Функциональная схема автоматизации - это технический документ, в котором определена функционально-блочная структура оснащения объекта управления аппаратно-техническими средствами автоматизации.

Активная схема автоматизации - это технический документ, в котором определена функционально-блочная конструкция оборудования объекта управления аппаратно-техническими способами автоматизации.

Все составляющие систем управления на активной схеме автоматизации изображаются в облике относительных изображений и соединяются линиями активной связи.

При разработке активной схемы автоматизации технологического процесса были решены надлежащие задачи:

- Задача получения первичной инфы о состоянии технологического процесса и аппаратно-технических средств;
- Задача управления технологическим ходом и стабилизации технологических параметров;
- Задача регистрации технологических характеристик процессов.

#### **6.7.4 Разработка схемы информационных потоков**

Схема информационных потоков представлена на рисунке 6.5. Она предусматривает многоуровневый иерархический принцип построения архитектуры АСУ ТП:

- нулевой уровень;
- первый уровень;
- второй уровень;
- третий уровень.

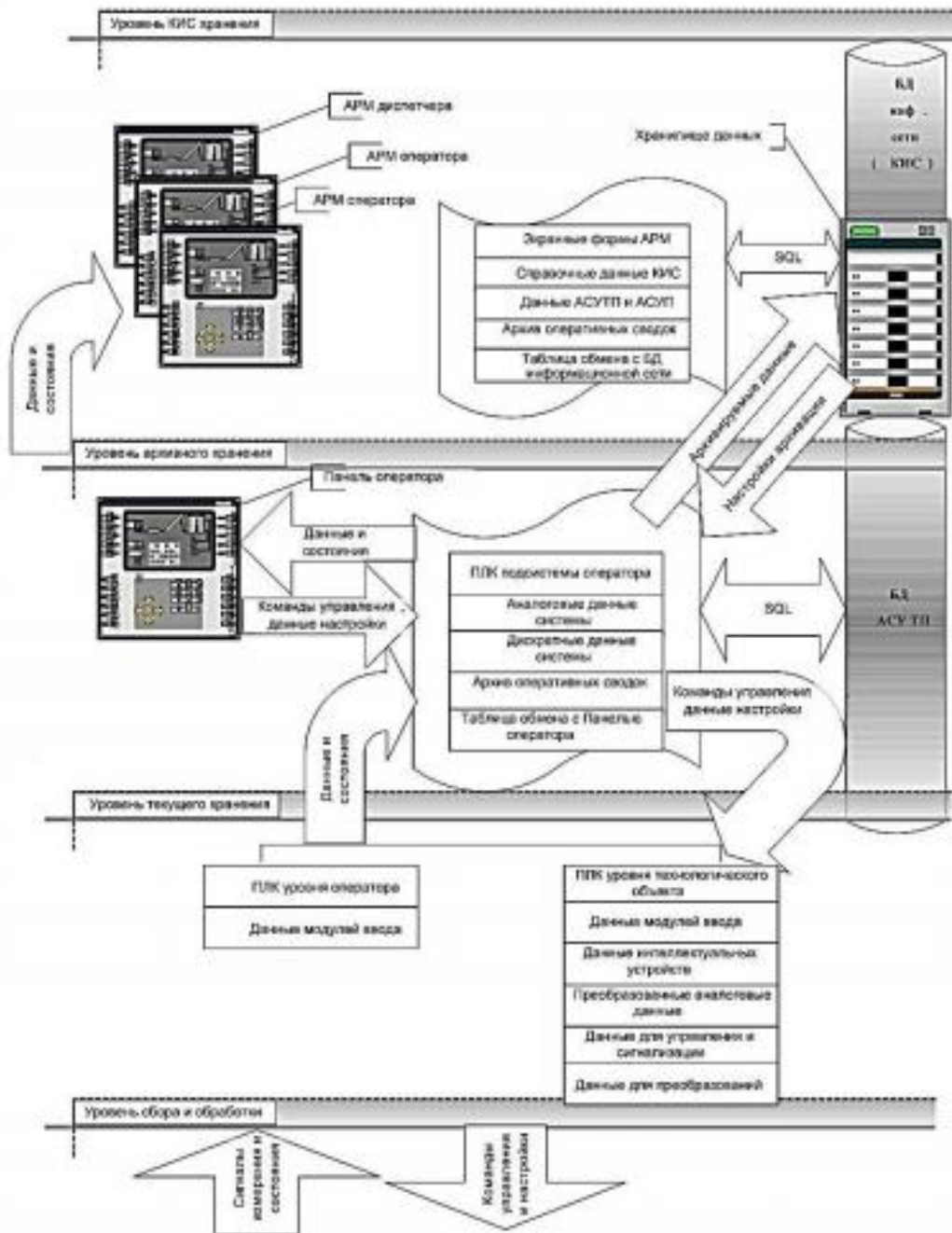


Рис. 6.5 Схема информационных потоков

К нулевому уровню системы относятся приборы КИПиА и исполнительные механизмы (первичные средства измерения, датчики измерения технологических параметров, регулирующие клапаны, исполнительные механизмы отсечной и запорной арматуры).

К первому уровню относятся системы автоматизации контроля и управления группой взаимосвязанных технологических объектов (программируемые логические контроллеры (ПЛК) управления и сбора данных).



Ко второму уровню относятся системы автоматического сбора, хранения и предоставления информации о текущем состоянии технологических объектов управления и автоматизированного дистанционного формирования команд управления механизмами и алгоритмами АСУ ТП (SCADA-системы, OPC сервер, автоматизированные рабочие места (АРМ) технологического персонала среднего уровня, сетевое оборудование).

К третьему уровню относятся интегрированные системы управления предприятием, объединяющей системы автоматизации уровня АСУ ТП и другие имеющиеся системы (коммутационные серверы, серверы промышленных приложений, серверы БД, автоматизированные рабочие места (АРМ) уровня диспетчерской службы и главных специалистов объекта.

Параметры, передаваемые в локальную вычислительную сеть в формате стандарта OPC, включают в себя:

- уровень в сепараторе пробкоуловителе С-1, мм;
- давление газа на входе сепаратора С-1, МПа;
- температура газа в разделителе жидкостей С-1, °С;

Каждый элемент контроля и управления имеет свой идентификатор (ТЕГ), состоящий из символьной строки. Структура шифра имеет следующий вид:

*AAA\_BBB\_CCCC* (1)

где

AAA – параметр, состоящий из 3-х символов, который принимает следующие значения: URV – уровень, DAV – давление, TRM – температура;

BBB – код технологического аппарата (или объекта), содержащий 3 символа:  
SEP – сепаратор;

CCCC – уточнение, включающее не более 4 символов: DIAP – в рамках рабочего диапазона, HIGH – верхнее предельное значение, LOW – нижнее предельное значение.

Знак подчеркивания в данном представлении служит для отделения одной части идентификатора от другой и не несет в себе какого-либо другого смысла.

Перечень всех входных и выходных сигналов приведён в таблице 7.2.

Таблица 6.2 – Перечень входных и выходных сигналов.

Наименование сигнала	Идентификатор сигнала	Диапазон измерения	Единица измерения	Тип сигнала	Технологические уставки			
					Предупредительные		Аварийные	
					min	max	min	max
Уровень конденсата в сепараторе С-1	URV_SEP_DIAP	10...1000	мм	4-20 мА	-	-	-	-
Верхний предельный уровень в сепараторе С-1	URV_SEP_HIGH	-	-	DI	-	+	-	+

Нижний предельный уровень в сепараторе С-1	URV_SEP_LOW	-	-	DI	+	-	+	-
Температура в сепараторе С-1	TRM_SEP_DIAP	0...50	°С	4-20 мА	-	-	-	-
Давление в сепараторе С-1	DAV_SEP_DIAP	0...20	Мпа	4-20 мА	-	+	-	+

### 6.7.5 Выбор программно-технических средств АС

Выбор программно-технических средств реализации проекта АС включает в себя: проведение анализа вариантов, непосредственный выбор компонентов АС и проведение анализа их совместимости.

В состав программно-технических средств АС сепаратора пробкоуловителя входят:

- Измерительные устройства, осуществляющие сбор информации о ходе ТП;
- Исполнительные устройства, преобразующие электрическую энергию в иные виды физических величин для осуществления воздействия на ОУ;
- Контроллерное оборудование, выполняющее задачи вычисления и логические операции.

### 6.7.5.1 Выбор датчиков

#### 6.7.5.1.1 Выбор уровнемера

Для измерения уровня были рассмотрены Rosemount 2120, НПП СЕНСОР ПМП-118-hk36. Основные их характеристики приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Технические характеристики уровнемеров

Технические характеристики	Rosemount 2120	НПП СЕНСОР ПМП-118-hk36
Температура окружающей среды	- 40..80 °С	-50..+100 °С
Измеряемые продукты	жидкие	жидкие
Взрывозащищенное исполнение	есть	есть
Напряжение питания	20..264 В переменного тока, 20..60 В постоянного тока.	19..253 В переменного тока

В результате был выбран сигнализатор уровня серии Rosemount 2120 (рис. 4)



Рис. 4 - Сигнализатор уровня серии Rosemount 2120

#### 6.7.5.1.2 Выбор датчика температуры

Выбор датчика температуры проходил из следующих вариантов приборов: ТСП Метран-246-01, Элемер ТС-1088 и Элемер ТС-1187/2. Основные их характеристики приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Технические характеристики датчиков температуры

Технические характеристики	Метран-246-01	Элемер ТС-1088	Элемер ТС-1187/2
Диапазон измеряемых температур	-50...120°C	-50..+600 °C	-5..+350 °C

Температура окружающей среды	-10 до 70°C	-50..+100 °C	-50..+100 °C
Погрешность	±0,6	±0,6	±0,6
Взрывозащищенное исполнение	есть	есть	есть
Выходной сигнал	4-20 мА/HART	4..20 мА	4..20 мА/HART

В результате был выбран термоэлемент Метран-246-01 (рис. 6.6)



Рис. 6.6 Термоэлемент Метран-246-01

### 6.7.5.1.3 Выбор датчика давления

Для измерения давления были рассмотрены Элемер-100, Метран-55 и Метран-75. Основные их характеристики приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Технические характеристики датчиков давления

Технические характеристики	Элемер-100	Метран-55	Метран-75
Диапазон измерений, МПа	0,04..100	0..100	0..25
Температура окружающей среды	-40..+70 °С	-40..+70 °С	-40..+85 °С
Погрешность	от ± 0,15 %	от ± 0,15 %	от ± 0,2 %
Измеряемые продукты	жидкие и газообразные	жидкие и газообразные	жидкости, газ, газовые смеси, пар
Взрывозащищенное исполнение	есть	есть	есть
Напряжение питания	14,5..42 В	12.. 42 В	10,5..42,4 В
Выходной сигнал	4..20 мА/HART	4..20 мА	4..20 мА/HART

Исходя из требований технологического процесса, была выбрана модель датчика Элемер-100 (рис. 6.7).



Рис. 6.7 Внешний вид датчика давления Элемер-100

## 6.7.5.2 Выбор исполнительных механизмов

### 6.7.5.2.1 Выбор регулирующего клапана

Пропускную способность клапана  $Kv$  (м<sup>3</sup> /час) рассчитывают по формуле:

$$Kv = Q_{max} \cdot \sqrt{\Delta p_0 / \Delta p} \cdot \sqrt{\rho / \rho_0}$$

где  $\Delta p_0$  – потеря давления на клапане (ее принимают равной 1 кгс/см<sup>2</sup>);

$\Delta p$  – изменение давления в трубопроводе до и после клапана;

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

$\rho_0 = 1000$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воды (в соответствии с определением значения  $K$  ).

Расчетная пропускная способность клапана должна быть не менее 304 м<sup>3</sup> /час.

В соответствии с таблицей зависимости диаметра трубопровода от расхода жидкости получен присоединительный размер клапана к трубопроводу –  $Dy = 150$  мм.

В качестве регулирующего механизма будем использовать задвижку стальную клиновую фланцевую под электропривод 30с941нж фирмы «Нефтехимавтоматика» (рис. 6.8).





Рис. 6.8 - Задвижка 30с941нж под электропривод

Основные технические характеристики задвижки 30с941нж приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Технические характеристики задвижки 30с941нж

<b>Технические характеристики</b>	<b>Значение</b>
Рабочее давление в трубопроводе	16 МПа
Тип соединения	фланцевое по ГОСТ 12815-80
Рабочая среда	вода, пар, водогазонефтяные смеси, газы, нефтепродукты, углеводороды
Присоединительный диаметр ( Ду )	150мм
Температура рабочей среды	-40°С..+425°С
Материал корпуса	углеродистая сталь
Способ управления	электропривод
Климатическое исполнение	У1

Для управления клапана выбран электропривод промышленный Н-В 03 фирмы «Нефтехимавтоматика» (рис. 6.9).



Рис. 6.9 - Электропривод промышленный Н-В 03

Электропривод линейного перемещения (механизм электрический прямоходный, МЭП) механизмы на основе червячного редуктора и трапецеидальной передачи.

Усилие сжимающее или растягивающее. Червячное колесо и винтовая гайка изготовлены из особого пластика, позволяющего бесшумную эксплуатацию. Корпус из алюминиевого сплава; защитная труба из анодированного алюминия; шток из нержавеющей стали. AISI 304 или из анодированного алюминия. Механизмы снабжены длительной смазкой и не требуют дополнительного обслуживания. Широкая сфера применения, в том числе в шиберных и дисковых задвижках.

Основные технические характеристики привода Н-В 03 приведены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Технические характеристики привода Н-В 03

<b>Технические характеристики</b>	<b>Значения</b>
Тип	Многооборотный
Крутящий момент на выходном валу	25..63 кгс·м/Нм

Продолжение таблицы 6.7

Частота вращения выходного вала	24 об/мин
Мощность электродвигателя	3,2 кВт
Напряжение питания	380 В трёхфазного переменного тока (50 Гц)
Взрывозащита	есть

#### 6.7.5.2.2 Выбор регулятора асинхронного двигателя

Для управления электроприводом будем использовать преобразователь частоты Lenze 8200 TMD/TML (рис. 6.10).



Рис. 6.10 - Преобразователь частоты Lenze 8200 TMD/TML

Частотные преобразователи серии TMD/TML от компании Lenze AC Tech простые и несложные в настройке частотники в классе векторных преобразователей.

Lenze 8200 TMD/TML предназначены для выполнения стандартных функций частотного привода:

- регулирование частоты;

- регулирование крутящего момента;
- регулирование числа оборотов;
- ПИД – регулирование.

Преобразователи частоты Lenze 8200 TMD/TML работают в диапазоне мощностей и напряжений:

- 1 фаза 180..265 В – от 0,25 до 2,2 кВт.
- 3 фазы 320..528 В – от 0,37 до 7,5 кВт.

Конструкция частотников TMD/TML обеспечивает степень защиты IP20, серия предназначена для установки внутри шкафов.

Виды управления TMD/TML электродвигателем:

- скалярное управление;
- скалярное квадратичное управление;
- векторное управление без датчика;
- частота от 1 до 16 кГц.

Задание скорости Lenze 8200 TMD/TML:

- 4 фиксированные скорости;
- пульт управления;
- потенциометр;
- аналоговое управление 0..10 В или 4..20 мА.

Задание крутящего момента Lenze 8200 TMD/TML:

- пульт управления;
- аналоговое управление 0..10 В или 4..20 мА

### 6.7.5.2.3 Выбор контроллерного оборудования

Для реализации среднего уровня рассмотрим несколько семейств ПЛК различных производителей (табл. 6.8).

Таблица 6.8 – Технические характеристики контроллеров

<b>Технические характеристики</b>	<b>ОМС 8000</b>	<b>ОВЕН ПЛК100-24</b>	<b>ОВЕН ПЛК110</b>
Напряжение питания	24 В	18..29 В	15..30 В
Входы дискретные	3	8	18
Входы аналоговые	6	6	4
Вычислительная мощность	0,1 мкс 12 мкс (СЛОВО), 18 мкс (плавающая десятич. точка)	-	-
Визуализация	цветной дисплей TFT	Светодиодная индикация	Светодиодная индикация
Связь	Ethernet 100Base, RS-485	RS-485, RS-232 и Ethernet.	RS-485, RS-232 и Ethernet.
Карта microSD	32ГБ	-	-
Потребляемая мощность	макс. 5 Вт	6 Вт	6 Вт
Рабочая температура	-20..+60 оС	-10..+50 оС	-10..+50 оС
Степень защиты	IP40	IP20	IP40

В результате в основе автоматизированной системы управления будем использовать ПЛК ОМС 8000 (рис. 6.11).



Рис. 6.11 - ПЛК ОМС 8000

ОМС 8000 – семейство программируемых логических контроллеров фирмы «ОРБИТ МЕРРЕТ».

ПЛК ОМС 8000 имеет модульную архитектуру. Базовым устройством контроллера является основной модуль, к которому можно подключать различные модули расширения – до тридцати одного. Модули можно разместить вместе с основным модулем ПЛК или на расстоянии до 40 метров от него. Связь между модулями осуществляется по интерфейсу CAN. Питание основного модуля 100..250 В либо 24 В постоянного или переменного тока – в зависимости от заказа.

Основной модуль имеет три цифровых входа, входное напряжение которых идентично напряжению питания прибора (до 30 В). Также имеется шесть универсальных входов с общим проводом, гальванически развязанных с выходами и источником питания. Универсальные входы обеспечивают - подключение и обработку:

- импульсного сигнала до 30 В;
- сухого контакта, или NPN-транзистора с открытым коллектором;
- напряжения до 30 В;
- тока до 20 мА;
- термосопротивления Pt 1000, Ni 1000, Pt 100;
- термисторов с положительным температурным коэффициентом типа КТУ81-2хх;
- термопар типов В, Е, J, К, L, N, R, S, Т;
- сопротивления до 3,9 кОм.

ПЛК ОМС 8000 – модульный программируемый логический контроллер. Главный модуль объединяет в себе расширенные возможности связи и обработки аналоговых сигналов, что позволяет самостоятельно решать широкий круг задач автоматизации процессов.

К главному модулю может быть подключено до 31 модуля расширения ввода/вывода через интерфейс CAN (Controller Area NetDIAP).

Главный модуль представлен в двух вариантах по напряжению питания: 80-250В АС/DC и 12-30В АС/DC. Главный модуль имеет 3 дискретных входа, которые активируются напряжением, равным напряжению питания, и 6 универсальных входов.

Шесть универсальных входов могут быть сконфигурированы для обработки следующих типов сигналов:

- Импульсный PNP до 30В DC;
- Импульсный, контактный NPN «открытый коллектор»;
- Аналоговый вольтовый до 20В DC;

- Аналоговый токовый до 20мА;
- Аналоговый Pt 1000, Ni 1000, Pt 100 (только два входа).

Одна пара может быть сконфигурирована под сигналы последовательного интерфейса RS-485 для связи с внешними устройствами.

Универсальные сигналы могут быть использованы в качестве двух полных квадратурных каналов для соединения с квадратурными энкодерами.

Модули имеют 5 дискретных выходов и варьируются по типу выходов: реле или «открытый коллектор».

ПЛК ОМС 8000 оборудован сетевым интерфейсом Ethernet 100 Base.

Канал Ethernet используется для программирования контроллера, с его помощью контроллер может быть связан с другими ПЛК, устройствами человеко-машинного интерфейса и др.

Для отображения информации главный модуль оборудован цветным дисплеем TFT с разрешением 160x128 пиксел. В главном модуле предусмотрен разъем для установки съемной карты памяти MicroSD.

ПЛК ОМС 8000 выполнен на основе 32-разрядного микропроцессора ARM Cortex M3 с архитектурой ARMv7. Управление осуществляется встроенной операционной системой ProConOS eCLR v.3.0.0.

Для программирования ПЛК ОМС 8000 используется программа Multiprog 5.35 (KW-Software), снабжаемая библиотеками, включающими специализированные функции от ORBIT MERRET.



## **6.8 Разработка схемы внешних проводок**

Первичные и внешитовые приборы включают в себя датчики давления Элемер-100, датчик температуры Метран 246-01, уровнемера Rosemount 2110.

Для передачи сигналов от датчиков давления, датчика температуры, уровнемера на щит КИПиА используются по три провода. В качестве кабеля выбран КВВГнг.

КВВГнг – это кабель с медными токопроводящими жилами с пластмассовой изоляцией в пластмассовой оболочке, с защитным покровом. Он служит для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам и распределительным устройствам номинальным переменным напряжением до 660 В частотой до 100 Гц или постоянным напряжением до 1000 В, при температуре окружающей среды от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Медные токопроводящие жилы кабелей КВВГ выполнены однопроволочными. Изолированные жилы скручены.

### **6.8.1 Выбор алгоритмов управления АС**

В настоящей работе были разработаны следующие алгоритмы АС:

- алгоритм сбора данных измерений;
- алгоритм автоматического регулирования технологическим параметром.

Для представления алгоритма сбора данных были использованы правила ГОСТ 19.002.

### **6.8.2 Алгоритм пуска/останова и сбора данных измерений**

В качестве канала измерения выберем канал измерения уровня газожидкостной смеси в разделителе жидкостей. Алгоритм пуска/остановки и сбора данных канала измерения уровня в СПУ С-1.

### 6.8.3 Алгоритм автоматического регулирования технологического параметра

В процессе работы СПУ необходимо поддерживать давление в трубопроводе нагнетательного коллектора. В качестве регулируемого параметра технологического процесса выбираем давление газожидкостной смеси во входном коллекторе. Оно не должно превышать заданного уровня, в соответствии с условиями прочности трубопровода, и не должно опускаться ниже заданного уровня, в соответствии с условиями кавитации в трубопроводах.

В основе алгоритма регулирования будет лежать алгоритм ПИД регулирования, который позволяет обеспечивать достаточное качество регулирования, с малым временем переходного процесса и высокую нечувствительность к внешним возмущениям.

Структурная схема автоматического регулирования давления в трубопроводе входного коллектора состоит из следующих компонентов: задающее воздействие, ПЛК с ПИД-регулятором, исполнительный (регулирующий) механизм, объект управления (трубопровод).

Функциональная схема системы стабилизации давления в трубопроводе, приведена на рисунке 6.12.



Рис.6.12 - Функциональная схема системы стабилизации давления

Объект управления – участок трубопровода после насосного агрегата.

С панели оператора задается величина требуемого давления, которую необходимо поддерживать в трубопроводе. После чего эта величина приводится к унифицированному токовому сигналу 4-20 мА и передаётся на ПЛК. На входы ПЛК также приходит значение с датчика давления. Данные параметры сравниваются, в результате чего формируется выходной токовый сигнал. Этот сигнал подается на частотный преобразователь, на выходе которого в соответствии с принятым сигналом изменяется частота напряжения питания электропривода задвижки. Задвижка с электроприводом преобразует электрическую энергию в поступательное движение штока задвижки, в результате чего происходит изменение давления в трубопроводе.

В процессе управления объектом необходимо поддерживать давление на выходе равное 6 МПа.

Как видно из графика ПП САР, представленного на рисунке 12, переходный процесс получился аperiodический, статическая ошибка стремится к нулю, а время ПП составило порядка 12 сек.

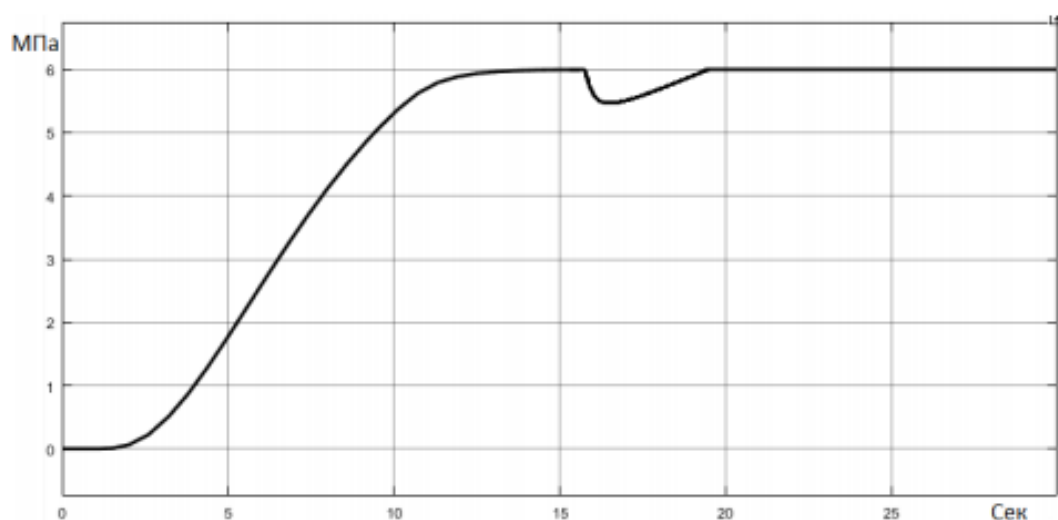


Рисунок 6.13 – График переходного процесса (ПП) САР

## **Вывод**

Были разработаны структурная и функциональная схемы автоматизации разделителя жидкостей, позволяющие определить состав необходимого оборудования и количество каналов передачи данных и сигналов. Был произведён выбор комплекса аппаратно-технических средств реализации АС, а именно были подобраны ПЛК (ОМС 8000), датчики давления (Элемер-100), датчик температуры (Метран 246-01), уровнемер (Rosemount 2120), задвижки (30с941нж с электроприводом Н-В 03) и преобразователь частоты (Lenze 8200 TMD/TML).

Также была разработана схема внешних проводок, благодаря которой в случае отказа системы существует возможность оперативно найти неисправности и легко их устранить. Для управления технологическим оборудованием и сбором данных были разработаны алгоритмы пуска/остановка технологического оборудования и управления сбором данных.

Таким образом, спроектированная АСУ разделителя жидкостей УКПГ не только удовлетворяет текущим требованиям к системе автоматизации, но и имеет высокую гибкость, позволяющую изменять и модернизировать разработанную АС в соответствии с возрастающими в течение всего срока эксплуатации требованиям.

## **7 Монтаж газового сепаратора**

Монтаж аппаратов на производствах производится при строительстве объектов с нуля, а также при ремонте и модернизации действующего производства [28].

### **7.1 Организация монтажной площадки**

Монтажная площадка – комплекс производственных и бытовых объектов с дорожным покрытием и коммуникациями.

Для начала работ по монтажу оборудования должны быть выполнены следующие работы, так называемого нулевого цикла:

- Подготовка путей подъезда;
- Подготовка и заливка фундаментов;
- Подготовка монтажных площадок, а именно, их покрытие железобетонными плитами;
- Подвод всех необходимых коммуникаций (водопровод, электроэнергия, канализация).

### **7.2 Монтажные работы**

Технология монтажа оборудования подразумевает выбор механизмов, инструментов и приспособлений, которые обеспечат рациональный способ монтажа оборудования.

### **7.3 Такелажные изделия**

Для выполнения монтажа оборудования чаще всего используются кантаты, стропы, полиспасты и монтажные блоки [30].

Для монтажа данного оборудования, в виде газового сепаратора, предлагаю использовать монтаж с помощью подъема краном с использованием строп.

Стропы изготавливают из стальных канатов, а также стальных цепей или пеньковых канатов. Наиболее распространены на сегодняшний день стопы облегченные и универсальные.

#### 7.4 Расчет строп для монтажа газового сепаратора

Усилия, которые испытывает строп, зависят от способа строповки, а также от числа ветвей. В случае если при монтаже используется несколько строп необходимо учитывать угол наклона ветвей стропа к вертикали, то есть с увеличением угла наклона увеличиваются нагрузки в ветвях  $S$  и горизонтальные усилия  $P$ , которые сжимают поднимаемое оборудование.

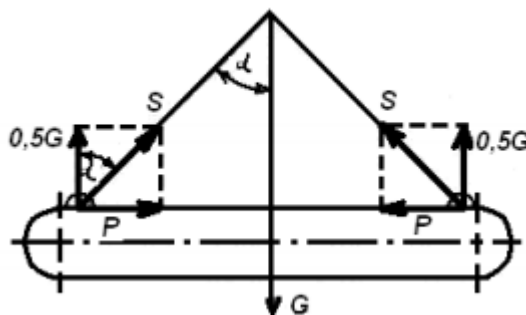


Рисунок 7.1 Расчет усилий в стропах

Усилие в ветвях рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{G}{2 * \cos\sigma};$$

где  $S$ - усилие в ветвях, Н;

$G$  – вес груза, Н;

$\sigma$  – угол наклона ветви стропа к вертикали.

В данном случае при монтаже эффективнее использовать четыре ветви. При числе ветвей  $n$  усилие в стропе находят следующим образом:

$$S = \frac{k * G}{n * \cos\sigma};$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий неравномерность загрузки отдельных ветвей стропа (для стропа с четырьмя ветвями  $k=1.35$ ).

$$S = \frac{1.35 * 14750}{4 * \cos 45} = \frac{19912.5}{2.1} = 9482 \text{ Н}$$

При подъёме аппарата ветви следует располагать под углом не менее 30 градусов к горизонту, так как в этом случае в стропе возникают значительные усилия.

Чтобы предотвратить повреждение канатов и стропов об острые грани груза, на них подкладывают деревянные или металлические подкладки.

Исходя из найденной нагрузки  $S$  подбираем строп. Подбор осуществляем по ГОСТ 25573-82, нашим условиям удовлетворяет строп 4СК1-1,0, грузоподъемность стропа составляет 1 тонну, допустимая нагрузка на звено 9,81 кН, нагрузки, которые выдерживает строп удовлетворяют нашим условиям.

Для проведения монтажа необходимо составить ведомость требуемого инструмента и материалов, механизмов. (табл. 7.1).

Таблица 7.1 Ведомость требуемого инструмента, материалов и механизмов.

Наименование	Обозначение	Кол.	Масса, кг	
			Ед.	Общ.
Монтажные приспособления				
1. Строп 4-х ветьевой	4СК1-1,0	1	35	35
Механизмы				
1. Автокран УРАЛ КС-55732-22 (длина стрелы 22м)		1	-	-
Монтажная оснастка				
1. Шпилька	M18x150	6	-	-
2. Шайба пружинная	3X13 (d=18мм)	12	-	-

3. Гайка	M18	12	-	-
----------	-----	----	---	---

### **Вывод**

В ходе расчета монтажа газового сепаратора определен используемый строп (4СК1-1,0), составлена ведомость необходимого оборудования и механизмов (табл. 7.1).



## **8 Социальная ответственность**

### **Введение**

В данном разделе выпускной квалификационной работы дается: описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования), отбор законодательных и нормативных документов по теме, анализ выявленных опасных и вредных факторов проектируемой производственной среды, охрана окружающей среды, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

#### **8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Режим рабочего времени организуется согласно главе 16 Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ. Согласно которому:

Режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели (пятидневная с двумя выходными днями, шестидневная с одним выходным днем, рабочая неделя с предоставлением выходных дней по скользящему графику, неполная рабочая неделя), работу с ненормированным рабочим днем для отдельных категорий работников, продолжительность ежедневной работы (смены), в том числе неполного рабочего дня (смены), время начала и окончания работы, время перерывов в работе, число смен в сутки, чередование рабочих и нерабочих дней, которые устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права, коллективным договором, соглашениями, а для работников, режим рабочего времени которых отличается от общих правил, установленных у данного работодателя, - трудовым договором.

Ненормированный рабочий день – особый режим работы, в соответствии с которым отдельные работники могут по распоряжению работодателя при необходимости эпизодически привлекаться к выполнению своих трудовых функций за пределами установленной для них продолжительности рабочего

времени. Перечень должностей работников с ненормированным рабочим днем устанавливается коллективным договором, соглашениями или локальным нормативным актом, принимаемым с учетом мнения представительного органа работников.

Сменная работа – работа в две, три или четыре смены – вводится в тех случаях, когда длительность производственного процесса превышает допустимую продолжительность ежедневной работы, а также в целях более эффективного использования оборудования, увеличения объема выпускаемой продукции или оказываемых услуг.

При сменной работе каждая группа работников должна производить работу в течение установленной продолжительности рабочего времени в соответствии с графиком сменности.

Защита персональных данных работника организуется согласно главе 14 Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ. Согласно которому:

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

1) обработка персональных данных работника может осуществляться исключительно в целях обеспечения соблюдения законов и иных нормативных правовых актов, содействия работникам в трудоустройстве, получении образования 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 сведения о работнике, относящиеся в соответствии с законодательством Российской Федерации в области персональных данных к специальным категориям персональных данных, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Кодексом и другими федеральными законами;

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;

Порядок хранения и использования персональных данных работников устанавливается работодателем с соблюдением требований настоящего Кодекса и иных федеральных законов.

Оплата и нормирование труда организуется согласно главе 20 Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.

В настоящее время компенсации за работу во вредных и (или) опасных условиях труда установлены в следующем виде:

- сокращенная продолжительность рабочего времени;
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск;
- оплата труда в повышенном размере;

· выдача молока и лечебно-профилактического питания.

Сокращенная продолжительность рабочего времени в общем случае составляет не более 36 часов в неделю и 8 часов в день (или 6 часов при 30-часовой рабочей неделе) при условии, что по результатам специальной оценки условия труда на рабочих местах сотрудников отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени или опасным условиям труда.

## 8.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Выявленные факторы перечислены в табл. 8.1.

Табл. 8.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Повышенный уровень вибрации на рабочем месте	-	+	+	1.ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования

Требования к технике безопасности при работе с вредными веществами	-	+	+	2.ГОСТ 12.1.007-76 Вредные вещества. Классификация и общие требования. ССБТ. 3.ГОСТ 12.4.299-2015 Средства индивидуальной защиты органов дыхания и другие средства индивидуальной защиты. ССБТ.
Освещение рабочей зоны	+	+	+	4.ГОСТ Р 55709-2013 Освещение рабочих мест вне зданий. 5. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий.
Повышенный уровень шума на рабочем месте	-	+	+	6.ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
Климат рабочей зоны	+	+	+	7. МР 2.2.7.2129-06 Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	8.ГОСТ 12.1.009-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения.
Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола)	-	+	+	9. ГОСТ Р 12.3.050-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Строительство. Работы на высоте. Правила безопасности
Статическое электричество	+	+	+	10. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда

				(ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования
Избыточное давление внутри аппарата	-	-	+	11. ГОСТ 12.2.085-2017 Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности

### **8.3 Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого газового сепаратора**

Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией.

#### **8.3.1 Повышенный уровень шума**

В сепараторе проходят потоки попутного нефтяного газа, постоянно ударяясь о стенки и перегородки аппарата.

Шум и вибрация не только ухудшают самочувствие человека и снижают производительность труда в среднем на 10-15%, но и очень часто приводят к профессиональным заболеваниям. Физиопатологические последствия могут проявляться в форме нарушения слуха и других анализаторов.

Шумы создаются работающими приборами, вентиляторами. В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно. Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с ГОСТ 12.1.003–2014. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 80 дБА.

В качестве средств индивидуальной защиты от шума в зависимости от конструктивного исполнения используются [8]:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски; противошумные костюмы.
- применение звукоизолирующих материалов
- изменение направленности шумового излучения

### **8.3.2 Повышенный уровень вибрации**

Появление данного вредного фактора вызвано тем, что через ректификационную колонну проходят потоки вещества со скоростью от 0,6 до 1 м/с [9]. При этом поток постоянно ударяясь о стенки и перегородки аппарата. Вследствие этого возникает вибрация. Под воздействием вибрации может возникать усталость, а как следствие низкий уровень производительности труда оператора.

Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора не менее 1 дБ (в 1,12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза). При показателе превышения более 12 дБ (в 4 раза) запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию [22].

Основным способом обеспечения вибробезопасности должно быть создание и применение вибробезопасных машин.

Создание вибробезопасных машин должно обеспечиваться применением методов, снижающих вибрацию в источнике возбуждения, которые приведены в ГОСТ 26568-85

### **8.3.3 Работа с вредными веществами**

На предприятиях, производственная деятельность которых связана с вредными веществами, должны быть [10]:

- разработаны нормативно-технические документы по безопасности труда при производстве, применении и хранении вредных веществ;
- выполнены комплексы организационно-технических, санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий.

Мероприятия по обеспечению безопасности труда при контакте с вредными веществами должны предусматривать:

- замену вредных веществ в производстве наименее вредными, сухих способов переработки пылящих материалов - мокрыми;
- выпуск конечных продуктов в непылящих формах;
- замену пламенного нагрева электрическим, твердого и жидкого топлива - газообразным;
- ограничение содержания примесей вредных веществ в исходных и конечных продуктах;
- применение прогрессивной технологии производства (замкнутый цикл, автоматизация, комплексная механизация, дистанционное управление, непрерывность процессов производства, автоматический контроль процессов и операций), исключающей контакт человека с вредными веществами;
- выбор соответствующего производственного оборудования и коммуникаций, не допускающих выделения вредных веществ в воздух рабочей зоны в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации при нормальном ведении технологического процесса, а также правильную эксплуатацию санитарно-технического оборудования и устройств (отопления, вентиляции, водопровода, канализации);



Для защиты от газов и паров применяют СИЗОД фильтрующего типа с противогазовыми фильтрами или ДА.

## **8.4 Анализ опасных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого газового сепаратора**

### **8.4.1 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека**

Во время работы, а также во время перерывов на отдых следует строго выполнять следующие правила электробезопасности [15]:

- перед первоначальным использованием электроприборов и электрооборудования внимательно ознакомиться с инструкцией по эксплуатации;
- включение электроприборов производить вставкой исправной вилки в исправную розетку; не включать электроприборы и электрооборудование в электрическую сеть мокрыми (влажными) руками;
- при неисправности электроприбора и электрооборудования прекратить работу, отключить электроприбор и электрооборудование от сети и сообщить непосредственному руководителю;
- неукоснительно выполнять требования плакатов и знаков безопасности в зданиях, помещениях и на территории;
- не наступать на электрические провода и кабели временной проводки, проложенные на поверхности пола (земли);
- лица, эксплуатирующие электроприборы и электрооборудование, обязаны строго соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения, а также места их экстренного отключения;
- в процессе эксплуатации электроприборов и электрооборудования персонал должен содержать в чистоте рабочее место;

- соблюдать правила эксплуатации электроприборов и электрооборудования, не подвергать электроприборы и оборудование механическим ударам, не допускать их падения;

- не производить самостоятельно ремонт и наладку неисправных электроприборов и электрооборудования.

Каждый раз перед пуском (включением) агрегата (механизма) с электроприводом необходимо убедиться:

- в наличии и исправности надёжного контактного соединения корпуса электродвигателя и токопроводящего кабеля с контуром заземления;

- в исправности узлов взрывозащиты, уплотнений, наличие болтов крепления;

- в наличии нанесенных стрелок на двигателях и приводимых ими механизмах, указывающих направление вращения механизма;

- наличие на кнопках управления надписей с наименованием агрегата, к которому они относятся, и положения «ПУСК», «СТОП»;

- в отсутствии вблизи агрегата посторонних лиц, ремонтного персонала на узловых соединениях агрегата;

- в наличии необходимых ограждений, наличие смазки.

#### **8.4.2 Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола)**

Работами на высоте в строительстве и системе ЖКХ считаются трудовые операции, выполняемые на высоте более 1,3 м от поверхности земли, пола, площадок, междуэтажных перекрытий, покрытий, а также работы, выполняемые в опасных зонах, т.е. ближе чем 2 м от границы перепада по высоте 1,3 м при отсутствии страховочных ограждений или ЗУС.

К работам на высоте допускаются работники, в том числе инженерно-технический персонал в возрасте не моложе 18 лет, признанные в установленном

порядке годными для работы на высоте по результатам медицинского профосмотра.

Перед началом работ на высоте работник должен пройти вводный инструктаж по общим правилам охраны труда на данном объекте, инструктаж по правилам безопасности непосредственно на рабочем месте, правилам пользования средствами индивидуальной и коллективной защиты и необходимым инструментом.

Перед началом работ необходимо изучить ППР, разработать основные мероприятия по обеспечению безопасности работ на высоте на данном конкретном объекте и ознакомить с ними ответственных лиц.

Мероприятия должны включать в себя применяемые:

- СИЗ – предохранительные пояса, страховочные системы, средства и методы ограждения рабочих мест в опасных зонах;
- СКЗ – страховочные канаты, средства подмащивания, в том числе средства для подъема/спуска работников на высоту к рабочим местам.

Мероприятия должны быть согласованы с представителем профсоюза организации и утверждены главным инженером.

### **8.4.3 Статическое электричество**

Статическое электричество — совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности или в объёме диэлектриков или на изолированных проводниках [16].

Статическое электричество возникает вследствие сохранения зарядов электростатического поля на диэлектрических материалах. Оно отрицательно влияет на жизнь человека и эксплуатацию электрических устройств.

Образование искр от статического электричества способствует пожарам и взрывам. Мощности энергии вполне хватит для возгорания газоздушных смесей и пыли.

Заряд статического электричества может накапливаться на теле человека, если на нем одежда из шерсти или из химических волокон. Величина потенциала около 7 Джоулей не составляет опасности для человека, однако способна вызвать судороги и сокращения мышц. А это в свою очередь может создать условия для травмы на работе, падения с высоты и т.д.

Статическое электричество отрицательно влияет на функционирование точных приборов, радиосвязи, вызывает неисправности в работе. Работники, на которых постоянно воздействует статическое электричество, чаще болеют сердечно-сосудистыми заболеваниями и болезнями нервной системы.

Только защита от статического электричества способна свести к нулю или вовсе не допустить возникновение этого отрицательного явления.

Средства защиты работающих по ГОСТ 12.4.011-89 делятся на средства коллективной защиты и средства индивидуальной защиты.

Средства коллективной защиты от статического электричества по принципу действия делятся на следующие виды:

- заземляющие устройства;
- нейтрализаторы;
- увлажняющие устройства;
- антиэлектростатические вещества;
- экранирующие устройства.

#### **8.4.4 Избыточное давление внутри аппарата**

Росгортехнадзором России устанавливаются специальные «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», исполнение которых обязательно для всех министерств и ведомств [20].

Эти правила устанавливают требования к проектированию, устройству, изготовлению, реконструкции, наладке, монтажу, ремонту, техническому диагностированию и эксплуатации сосудов, цистерн, бочек, баллонов, барокамер, работающих под избыточным давлением. Требования к монтажу и ремонту аналогичны требованиям к изготовлению.

Работы по обслуживанию и ремонту аппарата проводятся только после полного сброса избыточного давления. Запрещено обслуживать аппарат находящийся под давлением.

Каждые два часа проводится осмотр аппаратов для проверки герметичности, проверки производится с помощью газоанализаторов.

## **8.5 Экологическая безопасность**

ГТЭС является источником загрязнения окружающей среды. В процессе работы предприятия в атмосферу в год выбрасывается большое количество у/в, оксида углерода, и т.д., которые распространяются на большие расстояния.

Работа на «Шингинской ГТЭС» характеризуется опасностью вдыхания вредных веществ, таких как, например, пары углеводородных газов (этан, пропан, бутан).

Охрана окружающей среды – комплекс мер, предназначенных для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на природу.

Организация природоохранной системы на газотурбинной электростанции ООО «Газпромнефть-Восток» была предусмотрена еще на стадии проектирования станции. Проектом учтены основные принципы

обеспечения экологической безопасности от производственной деятельности завода:

- Обеспечение максимального снижения негативного воздействия от деятельности ГТЭС в соответствии с нормативами в области охраны окружающей среды;
- Предотвращение возможных негативных экологических последствий от хозяйственной деятельности предприятия, отказ от проектов если их последствия непредсказуемы для окружающей среды.

С целью уменьшения воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду, проведены следующие мероприятия:

- Применение герметичного оборудования;
- Хранение продуктов в закрытых емкостях;
- Исключение условий возникновения аварийных ситуаций с помощью защиты КИП и АСУ;
- Контроль наличия утечек;
- Использование на наливных автостоянках устройств для герметичного налива в цистерны;
- Размещение оборудования на площадках с твердым покрытием;

Деятельность предприятия по обращению с опасными отходами:

- Складирование опасных промышленных отходов на станции не предусматривается;
- Отработанные вещества по трубопроводам отправляются на место утилизации;
- Реагенты участвующие в технологическом процессе хранятся на специально оборудованном складе;
- Шлам и отработанный песок собираются в металлические контейнеры и вывозятся на полигон промышленных токсичных отходов.

### 8.5.1 Защита гидросферы и литосферы

При характеристике ГТЭС как источника загрязнения окружающей среды следует отметить, что сбросов токсичных сточных вод не производится. На территории присутствует ливневая система закрытого типа, следовательно, при разливе опасных веществ стоки не попадают в водоемы, а отводятся в специальную емкость.

Часто почва станции площадки загрязняется от различных аварийных утечек, которые, проникая в почву, загрязняют грунтовые воды и, испаряясь, особенно в летний период, загрязняет окружающий воздух. Сточные воды являются также источником загрязнения почвы, куда они могут проникнуть из-за недостаточной герметичности канализационных колодцев, очистных сооружений и стыков труб сетей промышленной канализации.

Почва может загрязняться также различными твердыми и жидкими отходами.

С целью предотвращения загрязнений поверхностных и подземных вод от загрязнений предусмотрено:

- Отбортовка территории возможных проливов асфальтобетонным покрытием;
- Размещение заглубленных емкостей в бетонных приямках, засыпанных песком;

### 8.5.2 Защита атмосферы

Таблица 8.2 - Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу

<b>Безвозвратные потери ПНГ</b>	<b>%</b>
Потери углеводородов в окружающую атмосферу (включая сернистые соединения) в том числе:	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Прочие источники испарения (утечки через неплотности, пропуски через воздушники на аппаратах, не подключенных к факельной линии и др.</li> </ul>	5,7
Потери при сжигании на факелах (при отсутствии газгольдеров для улавливания сбрасываемых факельных газов)	94,3
Всего безвозвратные потери	100,0

С целью охраны воздушного бассейна выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы вредных веществ в атмосферу:

- Использование герметичного оборудования;
- Утилизация углеводородных газов, образующихся в технологическом процессе, путем сжигания в качестве топлива;
- Подъем на оптимальную высоту труб выбросов организованных источников, для улучшения рассеивания;
- Установка на территории промплощадки датчиков загазованности;

### 8.5.3 Утилизация ТБО

На территории ГТЭС «Шингинская» ведется отдельный сбор отходов производства. Отходы складываются в специальных емкостях и делятся на:

- Пластик
- Металл
- Бытовые отходы
- Промасленную ветошь

В дальнейшем ТБО вывозятся специальной техникой на территорию полигона по утилизации ТБО.

## 8.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях



### 8.6.1 Пожарная и взрывная опасность

Попутный нефтяной газ относят к классу ПА и Т1. При работе оборудования нельзя допускать открытого огня, искр и курения. Смесь паров ПНГ с воздухом взрывоопасна.

При сливно-наливных операциях следует строго соблюдать правила защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

На площадках, где производится хранение и использование ПНГ запрещается обращение с открытым огнем, а также использование инструментов, дающих при ударе искру. Электрооборудование и искусственное освещение должно быть выполнено во взрывобезопасном исполнении.

При выполнении измерений содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны, а также уровни электромагнитных излучений и прочие вредные производственные факторы не должны превышать установленные санитарные нормы.

Для тушения ПНГ необходимо применять тонкораспыленную воду, химическую и воздушно-механическую пену. Для тушения небольших очагов горения применяют ручные пенные или углекислотные огнетушители.

Для минимизации данного фактора также проводится кошение и уборка сухостойной растительности на территории станции, а также на факельном хозяйстве.

Проводятся регулярные инструктажи по действию персонала во время ЧС, а также тренировки по тушению очага возгорания, с применением пожарных гидрантов, пожарных мотопомп и использование пеногенератора.

В данных условиях наиболее вероятной и типичной ЧС является возникновение пожара.

Здания, сооружения, помещения, технологические установки должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения: огнетушителями,

ящиками с песком, асбестовое полотно, грубошерстная ткань, войлок (кошма), пожарными ведрами, совковыми лопатами, штыковыми лопатами, пожарным инструментом (крюками, ломami, топорами и т.п.), которые используются для локализации и ликвидации пожаров в начальной стадии их развития.

Для защиты жизни и здоровья сотрудников в случае возникновения пожара следует применять следующие основные мероприятия гражданской обороны:

- укрытие людей в приспособленных под нужды защиты населения помещениях производственных, общественных и жилых зданий, а также в специальных защитных сооружениях;
- эвакуацию населения из зон ЧС;
- использование средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожных покровов;
- проведение мероприятий медицинской защиты;
- проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах ЧС.

### **8.6.2 Способы и средства пожаротушения.**

Технологический процесс на «Шингинской ГТЭС» относится:

- К взрывоопасному, т.к. по условиям технологического процесса могут образоваться взрывоопасные смеси горючих газов или паров с воздухом;
- К пожароопасному.

На всей территории станции установлены газоанализаторы, которые при достижении концентрации взрывоопасного вещества в воздухе помещения 20 % от нижнего предела взрываемости сигнализатор срабатывает.

В соответствии с требованием норм по пожаротушению на установке должны быть предусмотрены первичные и стационарные средства пожаротушения, а также пожарная сигнализация.

Согласно на установке предусмотрены следующие средства пожаротушения:

- первичные средства пожаротушения (огнетушители – пенные ОХП-10, корюшковые ОПУ-10, ОПС-10г, углекислотные ОУ-5, ОУ-8; кошмы, ящики с песком, лопаты и т.д.);
- стационарная система пенотушения дожимных компрессорных установок;
- Проведение регулярных инструктажей с персоналом, контроль за состоянием противопожарного оборудования, а именно осмотр огнетушителей и пожарных постов.

### **Вывод**

После анализа данного раздела можно сделать вывод, что все соответствует НТД. Учтены вредные и опасные факторы, которые могут воздействовать на персонал. Описаны способы защиты окружающей среды от вредного воздействия. Также рассмотрены превентивные меры по предотвращению пожара.

## **9 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель работы – разработка технологического оборудования узла приема газа «Шингинской ГТЭС», а именно газового фильтр-сепаратора и входного газового сепаратора.

### **9.1 Анализ конкурентных технических решений**

В процессе работы рассматривались три варианта реализации данного проекта:

Вариант 1 – Использование вместо фильтр-сепаратора газового фильтра;

Вариант 2 – Использование другого типа фильтрующего элемента для входного газового сепаратора;

Вариант 3 – Использование фильтр-сепаратора на входе в узел приема газа, с входным сепаратором газа.

Детальный анализ конструктивного исполнения необходим, т.к. каждый тип конструктивного исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 9.1. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 9.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Качество фильтрации газа от механических примесей	0,12	1	3	5	0,12	0,36	0,6
Удобство в эксплуатации	0,11	2	3	5	0,22	0,33	0,55
Качество фильтрации газа от жидкости	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
Стабильность работы установки	0,14	3	4	5	0,42	0,56	0,7
Простота конструкции и ремонтпригодность	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Компактность	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
Безопасность	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Цена	0,13	5	4	3	0,65	0,52	0,39
Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
Затраты на ремонт	0,06	5	4	4	0,3	0,24	0,24
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>37</b>	<b>39</b>	<b>45</b>	<b>3,54</b>	<b>3,83</b>	<b>4,5</b>

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3,$$

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант устройства №3 является наиболее предпочтительным и является наиболее выгодным и эффективным типом исполнения готового устройства.

### SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 9.2 – SWOT-анализ

	<b>Strengths (сильные стороны)</b>	<b>Weaknesses (слабые стороны)</b>
	<p>S1. Применение стали, подходящей под технологический процесс;</p> <p>S2. Увеличение качества очистки попутного нефтяного газа;</p> <p>S3. Увеличение стабильности работы узла приема;</p> <p>S4. Уменьшение вредного воздействия на окружающую среду;</p>	<p>W1. Сложность в изготовлении.</p> <p>W2. Сложность монтажа.</p> <p>W3. Необходимость регулярного обслуживания аппарата.</p>
<p><b>Opportunities (возможности)</b></p> <p>O1. Возможность более высокой степени очистки газа.</p> <p>O2. Возможность увеличения межремонтных интервалов</p> <p>O3. Возможность создания новых рабочих мест</p>	<p>O1O2O3S1S2S3S4 – Меньшее воздействие на окружающую среду, как следствие улучшение экологической обстановки вблизи станции.</p> <p>O1O2S2S3 – увеличение сроков службы компрессорного оборудования, а также газотурбинных установок.</p>	<p>O1O2W1W2W3 – необходимость найма высококвалифицированных специалистов</p>
<p><b>Threats (угрозы)</b></p> <p>T1Возможен низкий спрос на результаты исследования или его отсутствие ввиду наличия уже имеющихся разработок</p> <p>T2. Вероятность наличия подобных разработок у конкурентов</p>	<p>T1T2S1S2S3S4 – При высоком спросе на территории РФ есть вероятность выхода на международный рынок.</p>	<p>T1T2W1W2W3 – проведение аналогичных расчетов и разработок конкурирующими компаниями вкпе с перечисленными слабыми сторонами проекта, способны сильно повлиять на ход разработки аппаратов, однако вовлечение иностранных инвесторов и сторонних компаний, заинтересованных в разработке данного проекта, а также его актуальность, способны предотвратить все негативные последствия.</p>

Таблица 9.3 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4
O1	-	+	+	-
O2	+	+	+	-
O3	-	-	-	+

Таблица 9.4 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3
O1	-	-	+
O2	-	-	+
O3	-	-	+

Таблица 9.5 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4
T1	+	-	-	-
T2	-	-	-	-

Таблица 9.6 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3
T1	+	-	-
T2	+	-	+

## 9.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 9.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках исследования;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов исследования.

Для выполнения данного исследования (проекта) необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 9.7.

Таблица 9.7 – Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель
Теоретические исследования	5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер
	6	Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
			Инженер
Контроль и координирование проекта	8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка принципиальной схемы	Инженер
	10	Технико-экономические расчеты	Инженер
	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер



### 9.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки проекта составляется из трудовых затрат, поэтому важно определить трудоемкость работ всех участников разработки проекта.

Несмотря на то, что трудоемкость зависит от трудно учитываемых параметров, т.е. носит вероятностный характер, ее можно определить экспертным путем, в «человеко-днях». Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости  $t_{ож\ i}$  определяется по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{\min i}$  – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{\max i}$  – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ :

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{C_i},$$

Где  $C_i$  – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 8.

### 9.2.3 Разработка графика проведения исследования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{кi.рук} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

$$T_{кi.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где  $k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где  $T_{кал}$  – общее количество календарных дней в году;  $T_{кал}$  – общее количество выходных дней в году;  $T_{пр}$  – общее количество праздничных дней в году.

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Составление и утверждение технического задания»:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ чел.} - \text{дн.},$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Q_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ раб.дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{кi.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 2,4 \cdot 1,48 = 3,55 \approx 4 \text{ кал.дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28.$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{\text{ки.инж}} = T_{\text{pi}} \cdot k_{\text{кал}} = 2,1 \cdot 1,28 = 2,69 \approx 3 \text{ кал.дн.}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 9.8.

Таблица 9.8 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{\min}$ , чел-дни		$t_{\max}$ , чел-дни		$t_{\text{ож}}$ , чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Выбор направления исследований	3	4	6	6	4,2	4,8	2,1	2,4	3	4
Подбор и изучение материалов по теме	-	5	-	8	-	6,2	-	6,2	-	10
Календарное планирование работ по проекту	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	-	10	-	15	-	12	-	12	-	18
Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	-	2	-	6	-	3,6	-	3,6	-	6
Оценка эффективности полученных результатов	2	2	4	6	2,8	3,6	1,4	1,8	2	3
Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-

Разработка принципиальной схемы	-	4	-	6	-	4,8	-	4,8	-	8
Технико-экономические расчеты	-	2	-	5	-	3,2	-	3,2	-	5
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	-	7	-	9	-	7,8	-	10,8	-	12

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта.



Рисунок 9.1 – Диаграмма Ганта

Таблица 9.9 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	81
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	70
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	17

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

#### **9.2.4 Бюджет научного исследования**

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 13.

##### **9.2.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)**

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 9.10.

Таблица 9.10 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Картридж для принтера	1 шт.	750	750
Бумага (формата А4)	300 шт.	2	600
Тетрадь	1 шт.	30	30
Ручка	1 шт.	25	25
Итого:			1405

#### 9.2.4.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 9.11 – Специальное оборудование для экспериментальных работ

Наименование оборудования	Количество единиц, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1. Autodesk Inventor Professional	1	80000	80000
2. MathCAD 2015	1	30000	30000
Итого			110000

#### 9.2.4.3 Расчет амортизации специального оборудования

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для ПО Microsoft Office 2019, с учётом, что срок полезного использования 3 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0.33$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Autodesk Inventor Professional:

$$A = \frac{H_A * I}{12} * m = \frac{0.25 * 80000}{12} * 4 = 6666 \text{ руб.}$$

MathCAD 2015:

$$A = \frac{H_A * I}{12} * m = \frac{0,5 * 30000}{12} * 4 = 5000 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A_{\text{сумм}} = 6666 + 5000 = 11666 \text{ руб.}$$

#### 9.2.4.4 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого, необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{он}} \cdot T_p,$$

где  $Z_{\text{он}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_о} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.},$$

где  $Z_m$  – должностной оклад работника за месяц;  $F_о$  – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл. 16);  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

- при отпуске в 28 раб. дня –  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней –  $M = 10,3$  месяца, 6-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_о} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}.$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_о) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_о) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

где  $Z_{мс}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{np}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_о$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 9.12 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213



Таблица 9.13 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_{р}, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	11,9	25552,9
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	44,8	78090,9
Итого:								103643,8

#### 9.2.4.5 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{дон} = k_{дон} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 25552,9 = 3832,9 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{дон} = k_{дон} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 78090,9 = 11713,6 \text{ руб.,}$$

где  $k_{дон}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

#### 9.2.4.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб}(Z_{осн} + Z_{дон}) = 0,3 \cdot (25552,9 + 3832,9) = 8815,7 \text{ руб..}$$

Для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб}(Z_{осн} + Z_{дон}) = 0,3 \cdot (78090,9 + 11713,6) = 26941,3 \text{ руб.,}$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

### 9.2.4.7 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \cdot k_{нр} = \\ = (11666 + 1405 + 110000 + 103643,8 + 15546,5 + 35757) \cdot 0,2 = 55603,7 \text{ руб.},$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ (название темы) по форме, приведенной в таблице 8.14.

Таблица 9.14 – Группировка затрат по статьям

Статьи								
Амортизация	Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
11666	1405	110000	103643,8	15546,5	35757	278018,3	55603,7	333622

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

**9.3.1 Интегральный показатель финансовой эффективности** научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. Сепаратор газовый серии СГГ.

## 2. Сепаратор газовый серии СГВ.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{333622}{330000} = 1,01,$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{333622}{345000} = 0,96;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{345000}{345000} = 1;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{212000}{345000} = 0,61.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

### 9.3.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

В данном разделе необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где:  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;  $a_i$  – весовой коэффициент проекта;  $b_i$  – бальная оценка проекта, устанавливаемая опытным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 9.15.

Таблица 9.15 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Бальная оценка сепаратора серии СГГ	Бальная оценка сепаратора серии СГВ
1. Безопасность при использовании установки	0,2	5	5	5
2. Стабильность работы	0,2	5	5	5
3. Технические характеристики	0,3	3	3	5
4. Ремонтопригодность	0,15	4	2	2
5. Простота эксплуатации	0,15	5	4	4
Итого:	1	4,25	3,8	4,4

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,25 ;$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 = 4,4 ;$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 = 3,8 .$$

### 9.3.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{финр}} = \frac{4,25}{0,96} = 4,42.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность

проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 9.16). Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{4,4}{4,42} = 0,99.$$

Таблица 9.16 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,01	1	0,64
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	4,4	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,42	4,4	5,93
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,99	0,95

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 56,7 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 44,8 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 11,9;
3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 333622 руб.;
4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

- Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,96, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;
- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,25, по сравнению с 4,4 и 3,8;
- Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,42, по сравнению с 4,4 и 5,93, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## Заключение

В результате проделанной работы был проведен технологический расчет газового сепаратора и фильтр-сепаратора, где определили геометрические размеры аппаратов и диаметры патрубков. Был проведен механический расчет, где были рассчитаны толщины стенок: цилиндрической обечайки и эллиптических крышек, произведен прочностной расчет фланцевых соединений на прочность и герметичность, проведен расчет укрепления отверстий патрубков штуцеров, для аппаратов были рассчитаны и подобраны стандартные седловые опоры. Так же проведена разработка методики расчета защиты газового сепаратора от превышения давления и разработаны разделы социальной ответственности и финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

По итогам расчета газового сепаратора:

- Проведен технологический расчет и по ТУ 3683-083-36214188-2013 подобран аппарат, подходящий по условиям технологического процесса. Также проведен механический расчет и подбор конструкционного материала, сталь 09Г2С. Внутренний диаметр аппарата равен 200 мм, заявленная пропускная способность 29480 м<sup>3</sup>/ч. Длина аппарата составляет 0.9 м, объем 0,028 м<sup>3</sup>. Толщина стенки составляет 5мм.
- Проведен расчет эллиптических крышки и днища.
- Проведен расчет необходимости укрепления отверстий, по итогам которого укрепления отверстий не требуется.
- Проведен расчет фланцевого соединения.
- Проведен расчет веса аппарата и подбор опор.

По итогам расчета газового сепаратора мы имеем следующие данные:

- Проведен технологический расчет и по ТУ 3683-014-00217389-97 подобран аппарат, подходящий по условиям технологического процесса. Также проведен механический расчет и подбор конструкционного материала, сталь 09Г2С. Внутренний диаметр аппарата равен 600 мм,

заявленная пропускная способность 10210 м<sup>3</sup>/ч. Длина аппарата составляет 2.7 м, объем 0,763 м<sup>3</sup>. Толщина стенки составляет 5мм.

- Проведен расчет эллиптических крышки и днища.
- Проведен расчет необходимости укрепления отверстий, по итогам которого укрепления отверстий не требуется.
- Проведен расчет фланцевого соединения.
- Проведен расчет веса аппарата и подбор опор.



## Список литературы

1. Поникаров И.И. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки: учебник / И.И. Поникаров, М.Г. Гайнуллин. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Альфа-М, 2006. – 606 с.
2. Технологический регламент. Технологические площадочные сооружения ГТЭС-24 МВт Шингинского месторождения. ООО «Газпромнефть-Восток» - г. Томск 2018г
3. Татаевский В.М. Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов. – М.:Гостоптехиздат, 1960. – 412 с.
4. ГОСТ Р 52857.1 – 2017 Общие требования.
5. ГОСТ Р 52857.2 – 2017 Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ.
6. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчет химической аппаратуры. Справочник. – М.: Альянс, 2008. – 752 с.
7. ГОСТ Р 52857.3 – 2017 Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек при внутренних статических нагрузках.
8. ГОСТ Р 52857.4 – 2017 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
9. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности
10. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов
11. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности

12. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования
13. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности
14. ГОСТ 12.4.299-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органов дыхания.
15. ГОСТ Р 55709-2013 Освещение рабочих мест вне зданий. Нормы и методы измерений
16. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий.
17. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
18. ГОСТ 12.1.009-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность.
19. ГОСТ Р 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества.
20. ГОСТ 12.2.085-2017 Арматура трубопроводная. Клапаны предохранительные.
21. Технологический расчет и подбор стандартного оборудования для установок системы сбора и подготовки скважинной продукции [Текст]: учебное пособие / Леонтьев С.А. Галикеев Р.М. Тарасов М.Ю. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2015.– 124 с
22. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением».
23. АрматуроСтроение.2014.№5: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.valve-industry.ru/archive/archive2014.php>.

24. ГОСТ 12.2.085 – 2002. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности.
25. Корольштейн Л.Б. О российской и зарубежной нормативно – методической документации по расчету и проектированию систем аварийного сброса / Промышленный сервис. №3. 2012. – 8с
26. Беляев В.М. Расчет и проектирование средств защиты. Беляев В. М. Миронов В.М., Сечин А.И. – Томский политехнический университет. – 2- е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.- 184 с.
27. Приложение: [Электронный ресурс]. URL: [https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/198674/mod\\_resource/content/17/Men\\_uTables.htm](https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/198674/mod_resource/content/17/Men_uTables.htm)
28. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шеин: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1992. – 204 с.
29. Маршев В.З. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтяной промышленности: учебное пособие / В.З. Маршев, И.П. Петрухин. – М.: Высшая школа, 1990. – 208 с.
30. Матвеев В.В. Примеры расчета такелажной оснастки: примеры и задачи / В.В. Матвеев, Н.Ф. Крупин. – Л.: Стройиздат, 1987. – 320 с.
31. Молоканов Ю.К. Монтаж аппаратов и оборудования для нефтяной и газовой промышленности: учебник / Ю.К. Молоканов, З.Б. Харас. – М.: Недра, 1982. 7. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. – М.: Высшая школа, 1985. – 520 с.
32. Фарамазов С.А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов: учебник. – Л.: Химия, 1988. – 304 с.
33. ГОСТ 25573-82 Стропы грузовые канатные для строительства. Технические условия
34. Поникаров И.И. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки: учеб. пособие / И.И. Поникаров, С.И. Поникаров, С.В. Рачковский. – М: Альфа-М, 2008. – 720 с.
35. Машины и аппараты химических производств / под ред. И. И. Чернобыльского. – М.: Машиностроение, 1975. – 454 с.
36. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию. – М.: Альянс, 2007. – 495 с.
37. Вихман Г.Л. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов: учебник/ Г.Л. Вихман, С.А. Круглов – М.: Машиностроение, 1973. – 328 с.

38. Громаков Е. И., Проектирование автоматизированных систем. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие: Томский политехнический университет. — Томск, 2009.
39. Клюев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х., Клюев А. А.; под ред. А.С. Клюева. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 464 с.
40. Комиссарчик В.Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов: учебное пособие. Тверь 2001. — 247 с.
41. Попович Н. Г., Ковальчук А. В., Красовский Е. П., Автоматизация производственных процессов и установок. — К.: Виццашк. Головное изд-во, 1986. — 311с.

## Приложение А

### Social accountability

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ81	Ильинский Николай Евгеньевич		

Консультант НОЦ Н.М. Кижнера ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан В.В.	Д.Х.Н.		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Диденко А.В.	к.ф.н.		

Today, the Russian oil and gas industry is increasingly relying on the use of its own fuel, supplying electricity and heat to both remote fields and production facilities located in large industrial areas. First of all, we are talking about the utilisation of associated petroleum gas (APG), which is now less often flared at the production site, and is used in power plants or goes to gas processing.

Over the seven years of applying the government decree, which came into force on January 1, 2013, the country's leading oil companies have invested more than 266 billion rubles in APG rational use projects. This is an average of 27.5% higher annually than in the three years prior to its introduction. Today, the average APG utilisation rate is close to the target of 95%, and for some companies it has exceeded this benchmark.

For APG utilisation from several fields of "Gazpromneft-Vostok" in 2016-2017, a gas and energy hub with generating and gas transportation capacities was created at the Shinginskoye field. Shinginskaya GTPP, with a nominal capacity of 24 MWth, provides electricity not only to the Shinginskoye field itself, but also to neighboring Kargasok and Parabel districts of the Tomsk region.

As of 2020, the Shinginskoye field includes a gas turbine power plant, a gas compressor station, and a gas reduction unit for processing and transporting APG. The daily volume of APG is about 1.9 million m<sup>3</sup>. The opening of the Urman and Archinskoye fields in 2020 allowed us to achieve these volumes of APG processing.

In this work there is the calculation of the equipment for the receiving host Shinginskoye GTPP, namely, gas filter and gas separator, the economic efficiency is a high in the preparation of the gas for further processing, hence increasing service life of process equipment.

Tasks that were set in this dissertation for the design of the gas filter-separator and separator node Shinginskoye gas treatment gas turbine power plant:

- Based on the initial data, to make a technological calculation of the equipment, the purpose of which is to determine the main geometric parameters of the device;

- After the technological calculation of the equipment, it is necessary to choose its material design, based on the fact that the APG purification process from mechanical and liquid impurities takes place in the equipment;

- To ensure the reliability of the equipment, it is necessary to make a mechanical calculation of the elements, components of the equipment and check the strength of the equipment as a whole;

- \* To calculate the economic feasibility of the designed equipment;

- \* To consider compliance with the requirements of GOST and SNIIP in the domain of occupational safety and health, as well as environmental protection. To identify dangerous and harmful factors of this production and describe them, to suggest measures for the organisation of safe work according to the standards.

Hardware calculation tasks are solved using the MathCAD program.

The final task is to develop drawings of the gas filter separator and separator.

Filtration is the process of separating inhomogeneous (dispersed) systems (for example, suspension, aerosol) using porous partitions that pass through the dispersion medium and delay the dispersed solid phase.

Separation is the process of separating the solid, liquid and gas phases of a stream, followed by extracting the solid and liquid phases from it. Gas separation is designed to prevent moisture and solid particles from entering the field gas collection networks and technological equipment of gas and gas condensate fields.

Gas filter separator - a device that provides a deep degree of purification of extracted or transported gas, whether natural or associated petroleum gas. The apparatus provides a gas cleaning from fine-dispersed moisture and mechanical impurities.

Gas separators are an integral part of natural gas production and storage, oil and gas production, processing and chemical enterprises. They perform the function of pre-purification of natural or associated petroleum gas from mechanical impurities, condensate, oil, and droplet moisture before its subsequent processing or transportation via main pipelines. They are also part of gas and oil pre-treatment plants, gas purification devices, and water discharge systems.

The movement of the gas-oil mixture along the field pipeline is accompanied by pressure pulsations, for example, if the flow has a cork structure, then there is a changeable passage of oil and gas plugs. Repeated stress on the pipeline leads to the appearance of cracks and destruction of the pipeline.

### **Description of the technological scheme**

Gas supplied to the site of a gas turbine power plant (GTPP) via two pipelines from the Shinginsky and Zapadno-Luginetsky fields, from the Luginetsky field (via a gas pipeline in reverse mode) with a temperature from +5 to +35 0C, a pressure of 0.3-0.6 MPa (in excess) is measured in the gas quantity measurement system (GQMS-3) and then fed to the site of the inlet separator (IS-1, IS-2) for cleaning from the drop liquid. Then the gas is fed to the high-pressure flare collector purge, as well as to the boiler room, the main part of the gas is supplied to the input of booster compressor units (BCU-1...BCU-3), where it is compressed to a pressure of 1.8-2.2 mPa (in excess).

Compressed gas at the exit of BCU, cooled to a temperature from +50 to +80 0C is supplied for purification from drop liquid to gas receivers (RG-1, RG-2), then to gas turbine units (GTU-1, GTU-4), the excess gas is sent to the site gas compressor station (GCS). Before entering into the work of the GCS facilities gas turbine power plant consumes the required volume of gas for the needs of the object the gas turbine and generated electricity, the rest gas from the site of booster pump station (BPS)



with the installation of preliminary water discharge (IPWD) Shinginskoye fields is transported by the current pipeline for Luginetsky compressor station. Gas receivers, in addition to cleaning the gas from the drop liquid, also smooth out pulsations (possible gas pressure surges) after compression, and ensure non-stop operation of gas turbine units when switching the working unit of the BCU to the backup unit of the BCU. Maintaining the working pressure in the gas pipeline at the reception of GTU units is provided by the Kv2 regulating valve (maintaining the pressure " to itself»).

Condensate removal from gas inlet separators, gas receivers, storage equipment of BCU block, gas filters in gas turbine units is provided in the condensate collection tank (TC-1). Pumping of the liquid from the tank is completed by a semi-submersible electric pump unit of the type NV-D 50/50 in the process of booster pipeline pumping station (BPPS) from the Singinsky field PWRU.

Waste oil is drained from the BCU units and gas turbine units into the oil drain tank (TO-2).

Emergency gas discharges from inlet separators, capacitance equipment of BCU units, gas receivers are directed to the high-pressure flare collector. There is a constant supply of purge gas in accordance with the requirements of the "Safety Guide for flare systems". To supply the specified gas flow rate to the beginning of the flare collector, a gas measurement system (GQMS-4) is provided, as well as a control valve Kv1.

According to the requirements of of the "Safety Guide for flare systems" [p. 56, p. 114 ], when the purge gas supply is stopped, as well as in the case of a discharge in the flare collector, an automatic nitrogen supply is provided to the beginning of the flare collector from the nitrogen facilities.

For safe operation of the flare unit and for the purpose of separating the drop liquid from the gas, an expansion chamber (EC) is installed in front of the flare barrel on the collector.

Condensate from the expansion chamber, as well as from the flare trunk of the HPF, is diverted to the condensate collection tank (TC), followed by pumping by an electric pump unit (1 working + 1 standby) into the condensate pipeline KP8 for return to the process of BPPS from the Shinginskoye field PWRU.

Ventilating of the condensate collection tank is carried out in a flare collector. When removing the tank for repair, the tank must be ventilated through the fire fuse into the atmosphere, and the discharge of condensate into the tank is not allowed.

Accounting for the amount of gas supplied to the duty burner of the FVD torch is carried out using the GQMS-1. The measurement of the amount of gas flared on the HPF flare is provided using the GQMS-2.

According to paragraph 109 of the "Safety Guide for flare systems", the amount of condensate returned from the condensate collection tank to the process of the DPS from the Shinginskoye field is taken into account.

The following nitrogen generation and storage facilities are provided at the GTPP site: a block nitrogen plant (BN), as well as two compressed nitrogen gas collectors (CA-1, CA-2) with a volume of 25 m<sup>3</sup> each of them. The block nitrogen plant is autonomous and operates in automatic mode: by the drop in nitrogen pressure in gas collectors, as it is consumed.

The project also provides the supply of nitrogen from stationary gas-collectors for pipelines to technological facilities with the aim of purging equipment before a repair and in preparation for the start.

For the operation of an emergency diesel power plant, diesel fuel storage facilities are provided at the GTPP site. Diesel fuel is delivered to the facility by automobile transport. For draining diesel fuel into the reserve tank (T-1), a platform

for loading/unloading GSM is provided. The supply of diesel fuel to the tank is provided by the tanker pump through filters, the system for measuring the amount of diesel fuel SMADF.

Emergency discharge of diesel fuel from the reserve tank is performed in an underground tank (TU-3).

### **Calculation of process equipment**

The calculation is performed to determine the parameters of the equipment, such as:

- Overall dimensions
- Wall thickness of the device
- Selection of pipes for the inlet and outlet of the working environment

A calculation is also performed to determine the need to strengthen the holes, calculate the weight of the device and select supports for the device.

For the safe operation of the equipment, protection against excess pressure must be provided, so during the final qualification work, the safety valve was calculated, since during the operation of technological equipment, it is not uncommon for situations when the pressure inside the vessel exceeds the permitted value. To avoid damage to the vessel and increase the service life, it is necessary to install safety devices that work on the principle of dumping an excessive amount of medium from the device.

Currently, the world is increasingly paying attention to such aspects as environmental protection, life safety and labor protection. The goal is to raise these aspects to a higher level.

One of the types of industrial accidents is depressurisation and explosions as a result of exceeding the pressure of the internal environment.

Often, when the pressure exceeds the operating range, the device is depressurised and can even completely collapse.

One of the methods of protection is the use of safety devices. Based on them, a plan of measures for the prevention of dangerous situations is developed.

The American petroleum Institute (API) has developed a system of technical regulation in the field of emergency discharge systems, which is an international standard and applies to pressure relief devices used in oil refining, chemical production and other similar systems designed for the maximum allowable working pressure.

Russian companies that use equipment that operates under excessive pressure are increasingly requiring their suppliers to comply with API standards and regulations. Recently, there have been more frequent cases when companies that do not have this certificate are not allowed to participate in international and Russian tenders. The requirements of this standard also apply to safety devices.

In Russia, there is a normative and technical document GOST 12.2.085-2002, which is also used in the design of safety devices. But since it has a number of disadvantages (it does not provide the necessary safe procedures of dangerous technological production, mistakes are made both at the design stage, and the construction of facilities and their operation, many firms prefer international standards.

### **Automating the process of operation of technological equipment**

The automated process control system has the following goals and objectives:

- Centralised control and management of the technological process;
- Prevention of industrial accidents;
- Improving the efficiency of technological processes;
- Stabilisation of parameters of technological process;

- Increase in production volume;
- Reduction of technical and economic costs;
- Increasing the quality of the prepared gas;
- Improving the competence of engineering and technical personnel;
- Improving process safety..

Purpose of the automated process control system (APCS) is as follows:

- Stabilisation of the specified process modes by collecting information about the state of the process, processing it, visualising and performing the necessary control actions on the executive valve in real time;
- Analysis of the technological process, prevention of accidents by switching technological units to a safe state;
- Providing administrative and technical production personnel with the necessary information about the progress of the technological process.

### **Social responsibility**

This section covers aspects of work safety for employees, as well as legal and organisational issues of ensuring safety, such as compliance with working hours, protection of personal data of employees, compensation for work in harmful or dangerous conditions.

### **Production safety**

Production safety is a system of organisational measures and technical means that reduce the likelihood of exposure of personnel to hazardous production factors, harmful effects of technological processes, energy, tools, items, working conditions

and modes to an acceptable level. The selection of factors is made using GOST 12.0.003-2015 "Dangerous and harmful production factors. Classification"

This section analyses the identified harmful and dangerous factors such as:

- Increased noise level;
- Increased vibration level;
- Working with harmful substances;
- An increased voltage in an electrical circuit, the closure of which can occur through the human body;
- Location of the workplace at a significant height relative to the ground surface (floor);
- Static electricity;
- Excessive pressure inside the device.

### **Environmental safety**

Environmental impact is an essential factor for any production facility.

The main task is to minimize this factor, for this purpose the production equipment is located on special sites that do not allow dangerous and harmful substances to enter the soil and ground water. Also, separate collection of production waste is carried out on the territory of the "Shinginskaya GTPP". Waste is stored in special containers and divided into:

- Plastic
- Metal
- Household waste
- Oily polishing rags

In the future, solid household waste is transported with special equipment onto the territory of landfill utilisation of solid household waste.

## **Financial management, resource efficiency and resource saving**

The main task of this section is to assess the prospects for development and plan the financial and commercial value of the final product offered in the framework of scientific research. Commercial value is determined not only by the presence of higher technical characteristics over competitive developments, but, also, by how quickly the developer will be able to answer such questions – whether the product will be in demand on the market, what will be its price, what is the budget for scientific research, how much time will be needed to promote the developed product to the market.

This section covers the following tasks:

- Evaluation of the commercial potential of the development;
- Planning research work;
- The calculation of the budget scientific-research work;
- Determining the resource, financial, and budgetary effectiveness of the research.

In the course of work, three options for realising this project were considered:

Option 1 - Using a gas filter instead of a filter separator;

Option 2 – Using a different type of filter element for the inlet gas separator;

Option 3 - Using a filter separator at the entrance to the gas receiving unit, with an inlet gas separator.

A detailed analysis of the design is necessary, because each type of design has its own advantages and disadvantages.

This section also covers the planning of research work. The set of proposed works includes the following tasks:

- to determine the structure of work within the study;
- to identify participants in each work;
- to set the duration of work;
- to build a schedule for individual stages of the study.

To perform this research (project), it needs to form a working group, which includes a manager and an engineer. For each of the planned activities, it is necessary to select the performer of this work.

After completing this section, it is possible to sum up the following results:

1. The result of the analysis of competitive technical solutions is the choice of one of the options for implementing the device, as the most preferable and rational, in comparison with the rest;
2. During the planning process, a schedule of work stages was developed for the manager and engineer, allowing them to evaluate and plan the working hours of the performers. The following were determined: the total number of calendar days to complete the work – 56,7 days, the total number of calendar days during which the engineer worked - 44,8 and the total number of calendar days during which the manager worked - 11,9;
3. A design budget has been drawn up that allows us to estimate the cost of implementing the project, which is 333622 rubles;
4. Upon evaluating the effectiveness of research work, we can make conclusions
  - The value of the integral financial indicator of research work is 0,96, which is an indicator that the research work is financially profitable, compared to its analogues;
  - The value of the integral indicator of resource efficiency of research work is 4,25, compared to 4,4 and 3,8;
  - The value of the integral indicator of research performance is 4,42, compared to 4,4 and 5,93, and is the highest, which means that the technical solution considered in the research work is the most effective execution option.