

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 **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**  
**Профиль Машины и аппараты химических производств**

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Установка подготовки попутного нефтяного газа с разработкой теплообменника</b>

УДК 66.045.122-047.84:665.612.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К41	Кондратова Татьяна Валерьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Ольга Константиновна	к.т.н., с.н.с.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И. В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			

Консультант по разделу «Механический расчет оборудования»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

Томск – 2019 г.

## Запланированные результаты обучения по ООП 18.03.02 выпуска 2019 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК- 1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
Р2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК-1,2; ПК-1,3,,9; ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
Р3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК-5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
Р4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК – 1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК- 3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ОПК – 3; ПК-1,4,6,7,9,10,11; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (2.6)
Р9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
Р10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-4,6,8) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

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 **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**  
**Профиль** Машины и аппараты химических производств

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) Беляев В.М.  
 (Ф.И.О.)

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

В форме:

<b>БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА</b>
----------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2к41	Кондратова Татьяна Валерьевна

Тема работы:

<b>Установка подготовки попутного нефтяного газа с разработкой теплообменника</b>		
Утверждена приказом директора (дата, номер)	01.01.2019	№2477/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	27.05.2019 г.	

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Проектируемы теплообменник кожухотрубчатый для участка подготовки попутного нефтяного газа служит для подогрева нефтяного газа водой.</p> <p>Температура входящего газа -30,5 °С;          Температура выходящего газа 40 °С;          Температура воды на входе 95 °С;          Температура воды на выходе 70 °С;          Давление воды 1 МПа;          Давление газа 2 МПа.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Реферат Введение 1.Описание технологической схемы 2.Расчет теплообменника 4.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5.Социальная ответственность Заключение Список литературы</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1. Технологическая схема; Лист 2. Общий вид теплообменника; Лист 3. Выносные элементы теплообменника. Лист 4.Технико-экономические показатели.</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Подопригора Игнат Валерьевич</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Немцова Ольга Александровна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p> </p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Ольга Константиновна	к.т.н., с.н.с.		

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Ольга Константиновна	к.т.н., с.н.м		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2к41	Кондратова Татьяна Валерьевна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 100 страниц, 1 схему, 17 рисунков, 14 таблиц, 36 литературных источников.

Ключевые слова: ТЕПЛООБМЕННИК КОЖУХОТРУБЧАТЫЙ, ТРУБНАЯ РЕШЕТКА, ФЛАНЕЦ, РАЗВАЛЬЦОВКА, ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ.

Объект – кожухотрубчатый теплообменник.

Цель работы – проектирование кожухотрубчатого теплообменника для участка подготовки попутного нефтяного газа на Казанском месторождении.

В процессе исследования проводились тепловой, конструктивный, механический, гидравлический расчеты, а также расчет изоляции. Также рассмотрены вопросы экономики и социальной ответственности.

Область применения: спроектированный аппарат может быть внедрен на Казанском месторождении, на участке подготовки попутного нефтяного газа.

## **ABSTRACT**

The final qualifying work contains 100 pages, 1 scheme, 17 figures, 14 tables, 36 literature sources.

Key words: HEAT EXCHANGER SHELL AND TUBE, THE TUBE SHEET, FLANGE, FLARE, STRENGTH CALCULATION.

The object is a shell-and-tube heat exchanger.

The purpose of the work is to design a shell-and-tube heat exchanger for section of associated petroleum gas treatment at the Kazan field.

In the process of studies were conducted thermal, structural, mechanical, hydraulic calculations as well as insulation calculation. Also the questions of economy and social responsibility are considered.

Field of application: the designed device can be applied on the Kazan field, on a site of preparation of passing oil gaz.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ.....	10
2. РАСЧЕТ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА.....	12
2.1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.....	12
2.1.1 Тепловой расчет.....	13
2.1.2 Определение тепловой нагрузки аппарата.....	13
2.1.3 Определение расхода воды.....	14
2.1.4 Расчет температурного режима теплообменника.....	15
2.1.5 Ориентировочный расчет площади поверхности аппарата.....	15
2.1.6 Уточненный расчет коэффициентов теплоотдачи и коэффициента теплопередачи.....	16
3.2 Конструктивный расчет.....	18
3.2.1 Расчет количества труб в трубной решетке.....	18
3.2.2. Расчет диаметра штуцеров для ввода/вывода воды.....	19
3.2.3 Расчет диаметра штуцеров для ввода/вывода газа.....	20
3.3 Механический расчет теплообменного аппарата.....	21
3.3.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки кожуха.....	23
3.3.2 Расчет толщины стенки распределительной камеры.....	25
3.3.3 Расчет толщины стенок эллиптической крышки.....	28
3.3.4 Расчет температурных деформаций.....	29
3.3.5 Укрепление отверстий.....	30
3.3.6 Расчет трубной решетки.....	39
3.3.7 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.....	45
3.3.8 Выбор конструктивной схемы поперечных перегородок.....	60
3.3.9 Опоры аппарата.....	61
3.4 Гидравлический расчет аппарата.....	64
3.5 Расчет теплоизоляции.....	66
4. ЭКОНОМИКА ПОДГОТОВКИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА КАЗАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	70
4.1 SWOT-анализ.....	70
4.2 Расчет производственной мощности теплообменника.....	71
4.3 Режим работы.....	72
4.4 Организация оплаты труда.....	74
4.5 Основные фонды предприятия. Расчет амортизационных отчислений.....	76
4.6 Расчет себестоимости.....	77
4.7 Техничко-экономические показатели.....	82
4.8 Расчет точки безубыточности.....	83
4.9 Расчет срока окупаемости инвестиций.....	85
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	88
ВВЕДЕНИЕ.....	89
5.1 Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	90
5.2 Производственная безопасность.....	90
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.....	91
5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	94
5.3 Экологическая безопасность.....	94
5.3.1 Основные мероприятия по охране атмосферного воздуха.....	95
5.3.2 Основные мероприятия по защите поверхностных вод.....	95
5.3.3 Основные мероприятия по охране почв.....	96

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	98
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	99
Приложение А.....	101

## ВВЕДЕНИЕ

Роль нефтепродуктов и природного газа в современном мире огромно. Доля потребления нефти в общем мировом потреблении энергоресурсов составляет 34 %. Помимо использования как источника топлива и энергии, нефть и газ, как самостоятельно, так и продукты их переработки, применяются во всех отраслях промышленности, сельском хозяйстве, транспорте и даже в медицине.

Нефть — маслоподобная жидкость, органического происхождения, представляющая собой смесь углеводородов с примесью сернистых, азотных и кислородных соединений. Она является естественным горючим ископаемым, но отличается от других источников органических веществ бóльшим содержанием водорода и количеством теплоты, выделяющейся при горении.

В настоящее время нефть используется в трех главных направлениях: получение энергоносителей, получение материалов с заданными свойствами и получение химических и фармацевтических продуктов.

Актуальность исследований и разработок в данной отрасли невероятно высока. Нефть не только способствовала индустриализации общества и поднятию на новый уровень производительности, но и создала новую науку – нефтехимию, возникшую на стыке органической химии, химии нефти и физической химии.

Нефтяная отрасль является одним из основных источников пополнения бюджета страны, одной из передовых отраслей по автоматизации и модернизации производства.

Неотъемлемая часть любого технологического процесса получения химических продуктов – теплообменные процессы (нагревание, охлаждение, испарение, конденсация). Аппараты или устройства, в которых происходит передача теплоты от одного теплоносителя к другому, называют теплообменниками.

Теплообменные аппараты предназначены для проведения процессов теплообмена при необходимости нагревания или охлаждения технологической среды с целью ее обработки или утилизации теплоты.

Теплообменная аппаратура составляет весьма значительную часть технологического оборудования в химической и смежных отраслях промышленности. Удельный вес теплообменного оборудования на предприятиях химической промышленности составляет в среднем 15–18 %, в нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности – 50 %. Значительный объем теплообменного оборудования на химических предприятиях объясняется тем, что почти все основные процессы химической технологии связаны с необходимостью подвода или отвода теплоты.

Инженеру-механику химического направления просто необходимо уметь выполнять расчеты теплообменной аппаратуры, т.е. подбирать теплообменный аппарат под заданный процесс.

Целью дипломного проекта является проектирование кожухотрубчатого теплообменника для участка подготовки попутного нефтяного газа на Казанском месторождении.

## 1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Кожухотрубчатый теплообменник ТО-35-5.1 – предназначен для нагрева газа на выходе блока сепаратора до требуемой температуры.

Установка состоит из кожухотрубчатого теплообменника, сепаратора, щита управления с приборами автоматического контроля и регулирования, коммуникаций трубопроводных, запорной арматуры, регуляторов расхода (схема 1).

Схема позволяет эксплуатировать УПТГ2 в двух режимах – на сыром и осушенном газе на входе.

Сырой газ на входе УПТГ2 имеет температуру зимой около 10 °С, летом около 29 °С и давление (9,8...9,9) МПа.

В режиме работы на сыром газе в работу включается рекуперативный теплообменник ТО 35-9.1 для предварительного охлаждения входного потока газа. После охлаждения в ТО 35-9.1 газ редуцируется на регуляторах РДп 35-2.1 (РДп 35-2.2) с 9,9 до 0,6 МПа, в результате чего температура газа падает до минус 25...минус 40 °С.

Тяжелые фракции углеводородов и водяные пары в виде капельной влаги оседают в сепараторе С 35-3.1. Затем газ поступает в теплообменник ТО 35-9.1, где подогревается входным потоком газа, и далее в ТО 35-5.1 (ТО 35-5.2) нагревается потоком теплоносителя до требуемой температуры + 20...+ 60 °С.

Подготовленный газ с давлением 0,6 МПа поступает через счетчик газа FT 35-7.1, в линию продувочного газа. В линию ГТ2, через счетчик FT 35-7.4, газ топливный поступает к КУ1...КУ7. В линию ГТ3 через счетчик FT 35-7.3 газ поступает к потребителям УКПГ и К.

Газ топливный в линию ГТ4 и счетчик FT 35-7.2 в данном режиме не подается, так как выходного давления 0,6 МПа недостаточно для потребителей энергокомплекса УПН.

В режиме работы на осушенном газе от УКПГ и ручная арматура на входах/ выходах теплообменника ТО 35-9.1 закрывается, теплообменник выводится из работы. Газ осушенный на вход УПТГ2 поступает с температурой порядка 20 °С и давлением 7,9 МПа.

Входной поток газа редуцируется на регуляторах РДп35-2.1 (РДп35-2.2) с 7,9 до 1,9 МПа, проходит через сепаратор С 35-3.1 и поступает на теплообменник ТО 35-5.1 (ТО 35-5.2), где нагревается потоком теплоносителя до требуемой температуры + 20...+ 60 °С.

Подготовленный газ поступает:

- через регулятор расхода РР 35-7.2 и счетчик газа FT 35-7.1 в линию продувочного газа с расходом 40 м<sup>3</sup>/ч;

- через регулятор давления БРМ 35-7.3 (БРМ 35-7.4) и счетчик FT 35-7.4 в линию ГТ2 с давлением (0,6...1,2) МПа и расходом (200...7000) м<sup>3</sup>/ч;

- через регулятор давления БРМ 35-7.1 (БРМ 35-7.2) и счетчик FT 35-7.3 в линию ГТ3 с давлением 0,6 МПа и расходом до 1250 м<sup>3</sup>/ч;

- в линию ГТ4 через счетчик FT 35-7.2 с давлением 1,9 МПа и расходом (900...9000) м<sup>3</sup>/ч.

В качестве альтернативного источника топливного газа на энергокомплекс используется газ сырой после ФС3 (ФС4) из линии ГС1. В месте подключения линии ГТ4 с ГС1 установлена следующая арматура:

- кран с ручным приводом Кр-268, предназначенный для перекрытия подачи сырого газа на энергокомплекс из линии ГС1 ГКС2;

- обратный клапан КО-44, предназначенный для предотвращения перетока газа из линии ГТ4 в линию ГС1.

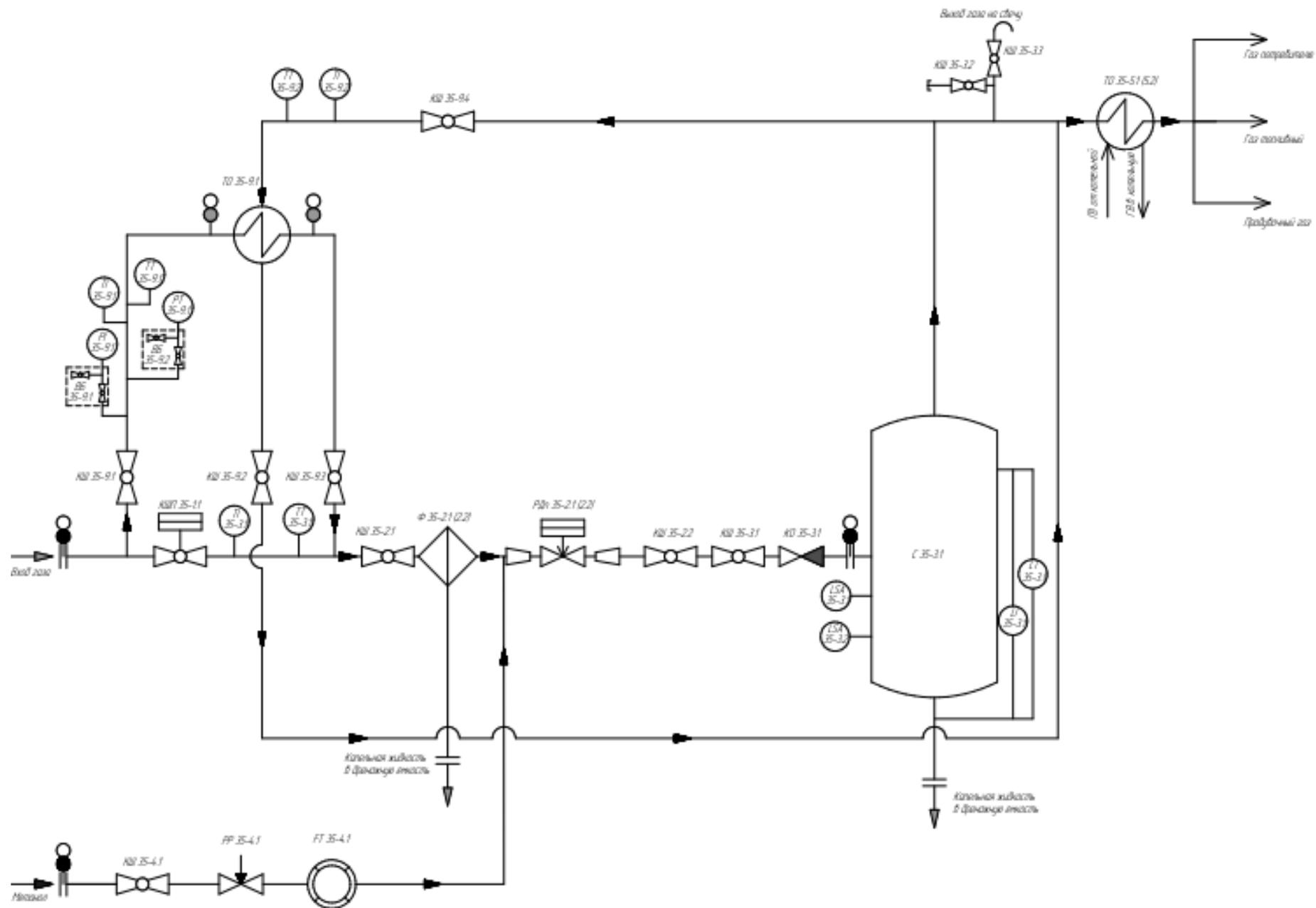


Схема 1. – Установка получения попутного нефтяного газа

## 2. Расчет кожухотрубчатого теплообменника

### 2.1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Технологический расчет заключается в тепловом расчете теплообменника, и выбора ряда стандартных теплообменников для дальнейших расчетов.

Исходные данные:

- горячий теплоноситель – вода;
- начальная температура горячего теплоносителя  $t_{1н} = 95^{\circ}\text{C}$  ;
- конечная температура горячего теплоносителя  $t_{2к} = 70^{\circ}\text{C}$  ;
- расчетное давление горячего теплоносителя  $p_1 = 1 \text{ МПа}$  ;
- холодный теплоноситель – свободный нефтяной газ;
- начальная температура холодного теплоносителя  $t_{2н} = -30,5^{\circ}\text{C}$  ;
- конечная температура холодного теплоносителя  $t_{2к} = 40^{\circ}\text{C}$  ;
- массовый расход холодного теплоносителя  $\dot{m}_2 = 1,8 \text{ кг / с}$  ;
- расчетное давление холодного теплоносителя  $p_2 = 2 \text{ МПа}$  ;
- коэффициент потерь тепла в окружающую среду  $\xi = 0,97$  .

## 2.1.1 Тепловой расчет

Целью теплового расчета является определение необходимой площади теплопередающей поверхности, соответствующей при заданных температурах оптимальным гидродинамическим условиям процесса, и выбор стандартизированного теплообменника.

Из основного уравнения теплопередачи

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (1)$$

где  $F$  - площадь теплопередающей поверхности, м<sup>2</sup>;

$Q$  - тепловая нагрузка аппарата, Вт;

$K$  - коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$\Delta t_{cp}$  - средний температурный напор, К.

## 2.1.2 Определение тепловой нагрузки аппарата

В рассматриваемой работе нагревание нефтяного газа осуществляется в горизонтальном кожухотрубчатом теплообменнике теплотой подготовленной воды, поэтому для теплообменного аппарата будет справедливо следующее уравнение теплового баланса (сохранения энергии)

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1н} - t_{2к}) \cdot \xi = \dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_{2к} - t_{2н}) \quad (2)$$

где  $\dot{m}_1$  – массовый расход горячего теплоносителя (воды);

$c_1$  – теплоемкость горячего теплоносителя (воды) при средней температуре

$$t_1 = 0,5 \cdot (t_{1н} + t_{2к});$$

$\dot{m}_2$  – массовый расход холодного теплоносителя (нефтяного газа);

$c_{p2}$  - средняя удельная теплоемкость холодного теплоносителя при средней

температуре  $t_2 = 0,5 \cdot (t_{2н} + t_{2к})$ ;

Количество теплоты, подводимое к нефтяному газу

$$\dot{Q} = 1,8 \cdot 2,01 \cdot (40 - (-30,5)) = 254,44 \text{ кВт}.$$

Средняя температура нефтяного газа:

$$t_2 = 0,5 \cdot (t_{2н} + t_{2к}) = 0,5 \cdot (-30,5 + 40) = 4,75 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Этому значению температуры соответствует:

$$c_{p2} = 2,01 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К}).$$

### 2.1.3 Определение расхода воды

Требуемый массовый расход подготовленной воды в теплообменном аппарате находим, используя уравнение теплового баланса (2)

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{Q}}{c_1 \cdot (t_{1н} - t_{2к}) \cdot \xi}$$

Средняя температура горячей воды:

$$t_1 = 0,5 \cdot (t_{1н} + t_{2к}) = 0,5 \cdot (95 + 70) = 82,5 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (4)$$

Этому значению температуры соответствует:

$$c_1 = 4,197 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Тогда

$$\dot{m}_1 = \frac{254,44}{4,197 \cdot (95 - 70) \cdot 0,97} = 2,5 \text{ кг} / \text{с}.$$

Таблица 2.1 - Теплофизические свойства теплоносителей

Пространство и процесс	Физические величины	Обозначения	Числовые значения
1	2	3	4
Трубное пространство (нагревание нефтяного газа)	Средняя температура нефтяного газа, $^\circ\text{C}$	$t_2$	4,75
	Плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$	$\rho_2$	19,51
	Удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	$c_2$	2010
	Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$\lambda_2$	0,033
	Динамическая вязкость, $\text{Па} \cdot \text{с}$	$\mu_2$	$11 \cdot 10^{-6}$
	Кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$	$\nu_2$	$0,564 \cdot 10^{-6}$
	Критерий Прандтля	$\text{Pr}_2$	0,67
Межтрубное пространство (охлаждение воды)	Средняя температура воды, $^\circ\text{C}$	$t_1$	82,5
	Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	$\rho_1$	945,2
	Удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	$c_1$	4197
	Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$\lambda_1$	0,676
	Динамическая вязкость, $\text{Па} \cdot \text{с}$	$\mu_1$	$345 \cdot 10^{-6}$
	Кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$	$\nu_1$	$0,355 \cdot 10^{-6}$
Критерий Прандтля	$\text{Pr}_1$	2,15	

Плотность нефтяного газа находим, используя уравнение состояния идеального газа

$$\rho_2 = \frac{p_2}{R \cdot T_2} = \frac{2 \cdot 10^6}{369 \cdot 277,75} = 19,51 \text{ кг} / \text{м}^3,$$



Для обеспечения высокой интенсивности теплообмена со стороны нефтяного газа необходимо подобрать турбулентный режим движения и скорость течения подготовленного газа в трубах аппарата.

Принимаем критерий Рейнольдса, соответствующий турбулентному режиму,  $Re_2 = 10^4$ .

Зададимся диаметром труб 16 x 2 мм:

Наружный диаметр труб:

$$d_{нар} = 16 \text{ мм},$$

Толщина стенки трубы:

$$\delta = 2 \text{ мм},$$

Внутренний диаметр:

$$d_{вн} = d_{нар} - 2 \cdot \delta = 16 - 2 \cdot 2 = 12 \text{ мм}$$

Тогда скорость движения газа в трубах равна

$$w_2^{\min} = \frac{Re_2 \cdot \nu_2}{d_1} = \frac{10^4 \cdot 0,564 \cdot 10^{-6}}{0,012} = 0,47 \text{ м/с}.$$

Гранично допустимое значение скорости нефтяного газа в трубах составляет 25 м/с, что существенно превышает минимальное значение, поэтому принимаем  $w_2 = 6,5 \text{ м/с}$ .

Необходимое число труб в одном ходу аппарата  $n$ , обеспечивающее такую скорость, определим из уравнения расхода:

$$\dot{m}_2 = \rho_2 \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot n \cdot w_2, \quad (6)$$

$n$  - число труб в одном ходу аппарата, шт.;

$w_2$  - средняя скорость движения холодного теплоносителя в трубах аппарата.

Из формулы (6)

$$n = \frac{4 \cdot \dot{m}_2}{\pi \cdot d_1^2 \cdot \rho_2 \cdot w_2} = \frac{4 \cdot 1,8}{3,14 \cdot 0,012^2 \cdot 19,51 \cdot 6,5} = 125,5 \text{ шт}.$$

Принимаем количество труб в одном ходу  $n = 126 \text{ шт}$ .

Проверим скорость движения нефтяного газа в трубах аппарата по формуле

$$w_2 = \frac{4 \cdot \dot{m}_2}{\pi \cdot d_1^2 \cdot \rho_2 \cdot w_2 \cdot n \cdot z} = \frac{4 \cdot 1,8}{3,14 \cdot 0,012^2 \cdot 19,51 \cdot 126 \cdot 1} = 6,5 \text{ м/с}, \quad (7)$$

где  $z = 1$  – количество ходов аппарата.

Значение скорости находится в рекомендуемых пределах.

## 2.1.6 Уточненный расчет коэффициентов теплоотдачи и коэффициента теплопередачи

Режим движения нефтяного газа в трубках аппарата определим по следующей формуле:

$$Re_2 = \frac{w_2 \cdot d_1}{\nu_2} = \frac{6,5 \cdot 0,012}{0,564 \cdot 10^{-6}} = 0,138 \cdot 10^6 > 10^4 - \text{турбулентный}. \quad (8)$$

Для расчета процесса теплоотдачи в закрытых каналах при турбулентном режиме движения и умеренных числах Прандтля ( $Pr < 80$ ) рекомендуется уравнение:

$$\text{Nu}_2 = 0,021 \text{Re}_2^{0,8} \text{Pr}^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{cm}}\right)^{0,25}, \quad (9)$$

$\left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{cm}}\right)^{0,25}$  - отношение, учитывающее влияние направления теплового потока

(нагревание или охлаждение) на интенсивность теплоотдачи. Для газов принимают, что

$$\left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{cm}}\right)^{0,25} \approx 1, \text{ тогда}$$

$$\text{Nu}_2 = 0,021 \cdot (0,138 \cdot 10^6)^{0,8} \cdot 0,67^{0,43} = 68,6,$$

$$\alpha_2 = \frac{\text{Nu}_2 \cdot \lambda_2}{d_1} = \frac{68,6 \cdot 0,033}{0,012} = 188 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Принимаем тепловую проводимость загрязнений со стороны греющей воды:

$$\frac{1}{r_{загр1}} = 5800 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

а со стороны нагреваемого газа считаем, что

$$\frac{1}{r_{загр2}} = 0$$

Тогда

$$\frac{1}{\sum r_{загр}} = \frac{1}{\frac{1}{5800} + \frac{0,002}{46,5}} = 4642 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Или

$$\sum r_{cm} = \frac{1}{4642} = 2,15 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

где  $\sum r_{cm}$  – сумма термических сопротивлений всех слоев, из которых состоит стенка, включая слои загрязнений.

При расчете коэффициента теплоотдачи со стороны греющей воды к трубам в межтрубном пространстве зададимся расположением труб в виде гексоугольника (по вершинам равносторонних треугольников), что соответствует шахматному расположению с поперечным шагом труб  $s_1 = 1,3 \cdot d_2 = 1,3 \cdot 0,016 = 0,021 \text{ м}$  и продольным шагом  $s = s_2 = s_1 = 0,021 \text{ м}$

Задаемся средней скоростью воды в межтрубном пространстве  $w_1 = 1 \text{ м/с}$ , тогда критерий Рейнольдса будет равен:

$$\text{Re}_1 = \frac{w_1 \cdot d_2}{\nu_1} = \frac{1 \cdot 0,016}{0,355 \cdot 10^{-6}} = 45070 > 10^4,$$

следовательно, режим движения воды в межтрубном пространстве турбулентный.

Критериальное уравнение для движения воды, омывающей шахматный пучок гладких труб при  $\text{Re}_1 = 45070$  и  $s_1 / s_2 = 0,021 / 0,021 = 1 < 2$  имеет вид

$$\begin{aligned} \text{Nu}_1 &= 0,35 \cdot \text{Re}_1^{0,6} \cdot \text{Pr}_1^{0,36} \cdot \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_c}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^{0,2} = \\ &= 0,35 \cdot 45070^{0,6} \cdot 2,15^{0,36} \cdot \left(\frac{2,15}{3,77}\right)^{0,25} \cdot 1^{0,2} = 256,3. \end{aligned} \quad (10)$$

Средний коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu}_1 \cdot \lambda_1}{d_2} = \frac{256,3 \cdot 0,676}{0,016} = 10828 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Так как теплообменная трубка тонкостенная ( $d_{\text{вн}} > d_{\text{н}}$ ), то для расчета коэффициента теплопередачи применяем формулу для плоской стенки

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (11)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  - коэффициенты теплоотдачи со стороны подготовленной воды и нефтяного газа,

$$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$\sum r_{cm}$  - сумма термических сопротивлений.

По формуле (12)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{10828} + 2,15 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{188}} = 177,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Расчетная площадь поверхности теплообмена по формуле (1)

$$F = \frac{254440}{177,7 \cdot 77,75} = 18,42 \text{ м}^2.$$

В результате вычислений предварительно следует принять горизонтальный кожухотрубчатый теплообменник вида ТН с площадью теплопередающей поверхности 18,42 м<sup>2</sup>.

## 3.2 Конструктивный расчет

Цель конструктивного расчета теплообменных аппаратов это - расчет диаметров штуцеров и выбор конструкционных материалов для изготовления аппаратов, трубных решеток, способ размещения и крепления в них теплообменных трубок и трубных решеток к кожуху; конструктивной схемы поперечных перегородок и расстояния между ними; распределительных камер, крышек и днищ аппарата; фланцев, прокладок и крепежных элементов; конструкции компенсирующего устройства, воздушников, отбойных щитков, опор и т.п.

### 3.2.1 Расчет количества труб в трубной решетке

Для кожухотрубчатых теплообменников важным элементом является расчет прочностной части трубного пространства. Исходя из заданной производительности аппарат и скорости движения газа, по уравнению расхода определяют площадь проходного сечения трубок одного хода  $f_i$ :

$$f_1 = \frac{G_2}{\rho_2 w_2} = 0,014 \text{ м}^2$$

где  $G_2$  – расход газа, кг/с;  
 $\rho_2$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  
 $w_2$  – скорость движения газа внутри трубок, м/с.

$$n_1 = \frac{f_1}{0,785 \cdot d_B^2} = 123 \text{ шт.}$$

где  $d_B$  – внутренний диаметр трубки, м.

Расчетная длина одной трубки при одном ходе

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot n} = \frac{18,42}{\pi \cdot 0,016 \cdot 126} = 2,9 \text{ м.}$$

Число ходов трубного пространства, приняв рабочую длину трубки  $l = 2$  м

$$Z = \frac{L}{l} = 2,2$$

Принимаем количество ходов по трубному пространству  $z = 2$ . Тогда общее количество труб  $n' = z \cdot n = 2 \cdot 126 = 252$  шт.

Внутренний диаметр кожуха для двухходового аппарата

$$D_в = 1,1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 1,1 \cdot 0,021 \cdot \sqrt{252 / 0,75} = 0,405 \text{ м}, \quad (12)$$

где  $\eta$  – коэффициент заполнения трубной решетки для многоходовых теплообменных аппаратов  $\eta = 0,6 - 0,8$ . Принимаем  $\eta = 0,8$ .

В результате всех вычислений принимаем в соответствии с ГОСТ 15118-79 горизонтальный двухходовый кожухотрубчатый теплообменник типа ТН с площадью теплообмена 24,0 м<sup>2</sup>, диаметром 0,4 м, длиной труб 2 м и количеством труб 252 шт.

Запас поверхности составляет:

$$\frac{24 - 18,42}{18,42} \cdot 100\% = 30,3\%$$

### 3.2.2 Расчет диаметра штуцеров для ввода/вывода воды.

Присоединение трубопроводов к теплообменным аппаратам бывает разъемным и неразъемным. Разъемное присоединение труб осуществляется при помощи фланцевых резьбовых штуцеров. При диаметре трубопроводов более 10 мм применяют фланцевые штуцеры.

Диаметр штуцера зависит от расхода и скорости теплоносителя (стр. 91 [1])

$$\dot{m} = \rho \cdot w \cdot S, \quad (13)$$

где  $\dot{m}$  - массовый расход теплоносителя, кг / с;

$w$  - скорость движения теплоносителя в штуцере,  $\frac{м}{с}$ ;

$S = \frac{\pi d_{ш}^2}{4}$  - площадь поперечного сечения штуцера,  $м^2$ .

Скорости движения теплоносителей в штуцерах выбираем по (табл. 1.4 [1],) принимая их несколько большими, чем в аппарате.

Диаметр штуцера:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{w \cdot \pi \cdot \rho}}, м. \quad (13)$$

Диаметр штуцеров для входа и выхода подготовленной воды рассчитаем по уравнению (20), принимая скорость движения подготовленной воды в штуцерах равной  $2 \frac{м}{с}$ .

Тогда

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 945,2}} = 0,041 м.$$

Принимаем

$$d_{ш} = 0,05 м = 50 мм.$$

### 3.2.3 Расчет диаметра штуцеров для ввода/вывода газа.

Диаметр штуцеров для входа и выхода нефтяного газа, расход которого  $\dot{m}_2 = 1,8 \text{ кг} / \text{с}$ .

При скорости газа в штуцере  $w_{2ш} = 6,5 \text{ м} / \text{с}$

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,8}{6,5 \cdot 3,14 \cdot 19,51}} = 0,134 \text{ м}.$$

Принимаем  $d_{ш} = 150 \text{ мм}$ .

### 3.3 Механический расчет теплообменного аппарата

Целью механического расчета является обеспечение механической надежности работы проектируемого оборудования.

Расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника представлена на рис. 3.

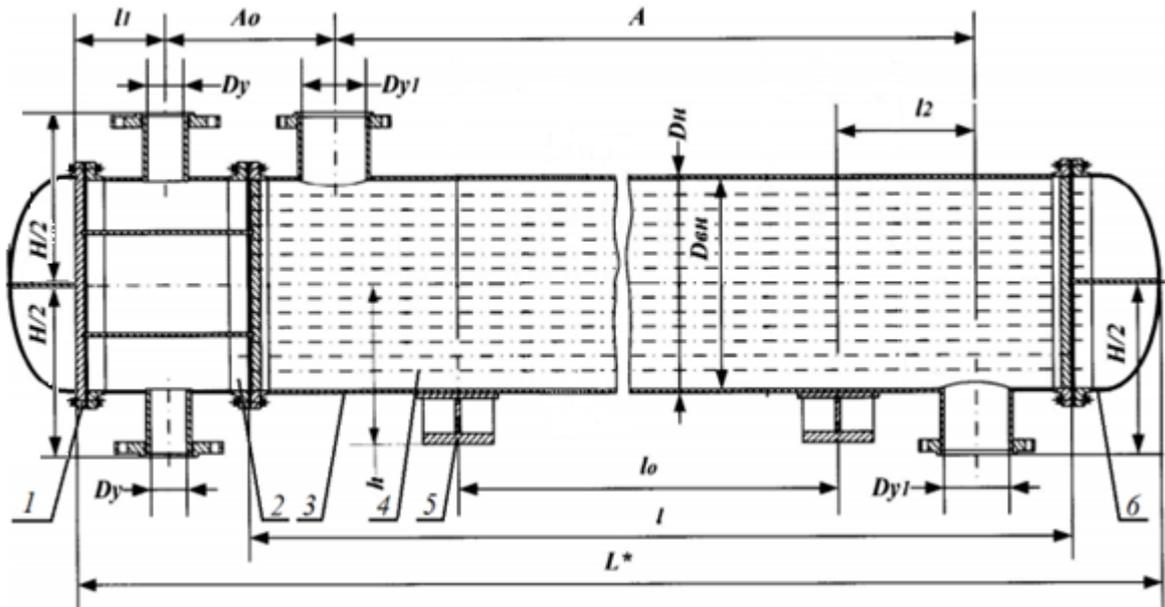


рис. 3.1 – расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника

1 – крышка распределительной камеры; 2 – распределительная камера; 3 – кожух; 4 – теплообменная труба; 5 – опора; 6 – крышка;  $l$  – длина труб.

Рабочие параметры среды трубного пространства:

$$t_{\text{газа}} = 4.75^{\circ}\text{C};$$

$$P_{\text{тр.}} = 2\text{МПа};$$

$$\rho_{\text{газа}} = 19.51\text{кг} / \text{м}^3;$$

$$w_{\text{газа}} = 6.5\text{м} / \text{с}.$$

Рабочие параметры среды межтрубного пространства:

$$t_{\text{воды}} = 82.5^{\circ}\text{C};$$

$$P_{\text{межтр.}} = 1\text{МПа};$$

$$\rho_{\text{воды}} = 945.2\text{кг} / \text{м}^3;$$

$$w_{\text{воды}} = 1\text{м} / \text{с}.$$

Обечайку изготавливаем из углеродистой стали марки В СтЗсп по ГОСТ 3800-71, которая подходит для расчетной температуры от -20 до +200<sup>0</sup>С и максимальным давлением до  $P_m = 3,0 \text{ МПа}$ .

Материал выбираем по рабочим условиям в аппарате: температуре, давлениям, химическим свойствам теплоносителей и др. При выборе материала используем рекомендациями и ГОСТ 15199-79, 15120-79, 15121-79, в которых указаны материалы основных деталей в зависимости от группы материального исполнения.

Группа материального исполнения -  $M_1$ . Материал:

кожуха - В СтЗсп5 ГОСТ 14637-79;

распределительной камеры и крышки – В СтЗсп5 ГОСТ 14637-79;

трубы - сталь 10 ГОСТ 8733-87;

материал прокладки: паронит ПМБ – 2.0.

### Исходные параметры:

Двнут := 400 мм	Внутренний диаметр аппарата
Р <sub>раб</sub> := 2 МПа	Давление в трубах
Р := 1 МПа	Давление межтрубного пространства
Т <sub>рач</sub> := 100 °С	Максимальная температура среды трубного пространства
t := 100 °С	Максимальная температура межтрубного пространства
Т := 20 лет	Срок эксплуатации аппарата
П := 0.1 мм/год	Скорость коррозии стали СтЗсп5
ρ <sub>газа</sub> := 19.51 кг/м <sup>3</sup>	Плотность газа
ρ <sub>воды</sub> := 945.2 кг/м <sup>3</sup>	Плотность воды
φ := 1	Коэффициент прочности сварного шва
σ <sub>20</sub> := 154 МПа	Допускаемое напряжение при 20 °С
σ <sub>t</sub> := 149 МПа	Допускаемое напряжение при расчетной температуре
Re.20 := 245 МПа	Минимальное значение предела текучести при температуре 20 °С
nt := 1.1	Коэффициент запаса прочности по пределу текучести
η := 0.8	Коэффициент номинального уменьшения допускаемого напряжения
g := 9.8 2	Ускорение свободного падения

### 3.3.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки кожуха

Рассчитаем толщину стенки для цилиндрической обечайки кожуха, находящейся под нагрузкой внутреннего избыточного давления по схеме см. рис 3. 2. ГОСТ 34233.2-2017.

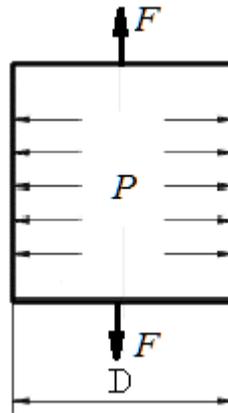


Рис. 3.2 Расчетная схема цилиндрической обечайки кожуха

Расчетный параметр внутреннего избыточного давления:

$$P_{\text{расч}} := P = 1 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое, при нормальных условиях, напряжение для стали СтЗсп5 составляет:

$$\sigma_{20} = 154 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{20.1} := \text{Floor}(\eta \cdot \sigma_{20} \cdot 0.5) = 123 \quad \text{МПа}$$

Вычислим давление для проведения испытаний на прочность:

$$P_{\text{исп}} := 1.25 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} = 1.292 \quad \text{МПа} \quad (17)$$

Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях для стали СтЗсп5 составляет:

$$\sigma_{\text{И}} := \text{Floor}\left(\frac{R_{e.20}}{n_T}, 0.5\right) = 222.5 \quad \text{МПа}$$

Рассчитаем толщину стенки для расчетного давления, и для гидравлического испытания:

$$S_p := \max\left(\frac{P_{\text{расч}} \cdot D_{\text{внут}}}{2 \cdot \sigma_t \cdot \varphi - P_{\text{расч}}}, \frac{P_{\text{исп}} \cdot D_{\text{внут}}}{2 \cdot \sigma_{\text{И}} \cdot \varphi - P_{\text{исп}}}\right) = 1.347 \quad (18)$$

Прибавка на коррозию:

$$c_1 := T \cdot \Pi = 2 \quad \text{мм}$$

Зададимся исполнительной толщиной цилиндрической обечайки:

$$s_{\text{обечайки.действ}} := \text{ceil}(S_p + c_1) = 4 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину стенки кожуха согласно ГОСТ 31843 - 12 [6]  $s_{\text{обечайки.действ}} := 8 \quad \text{мм}$

**Проверим будет ли выполняться для обечайек условие применимости формул при значении  $D > 200$**

$$Prov := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \frac{s_{\text{обечайки.действ}} - c_1}{D_{\text{внут}}} \leq 0.1 \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Рассчитаем допускаемое внутреннее избыточное давление:

- для рабочих условий:

$$P_{\text{доп.рабоч.об}} := \frac{2 \cdot \sigma_t \cdot \varphi \cdot (s_{\text{обечайки.действ}} - c_1)}{D_{\text{внут}} + (s_{\text{обечайки.действ}} - c_1)} = 4.404 \quad \text{МПа}$$

- в условиях при испытании:

$$P_{\text{доп.испыт.об}} := \frac{2 \cdot \sigma_n \cdot \varphi \cdot (s_{\text{обечайки.действ}} - c_1)}{D_{\text{внут}} + (s_{\text{обечайки.действ}} - c_1)} = 6.576 \quad \text{МПа}$$

Произведем проверку на выполнение условий прочности цилиндрической обечайки

Сделаем проверку выполнения условий прочности цилиндрической обечайки в рабочих условиях, под действием внутреннего давления .

$$U_{\text{проч.раб.}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{доп.рабоч.об}} \geq P_{\text{раб}} & 4.404 \geq 2 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{доп.рабоч.об}} < P_{\text{раб}} & 4.404 < 2 \end{cases}$$

$$U_{\text{проч.раб.}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Сделаем проверку выполнения условий прочности цилиндрической обечайки в условиях испытания, под действием внутреннего давления

$$U_{\text{проч.исп.}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{доп.испыт.об}} \geq P_{\text{раб}} & 6.576 \geq 2 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{доп.испыт.об}} < P_{\text{исп}} & 6.576 < 1.292 \end{cases}$$

$$U_{\text{проч.исп.}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

### 3.3.2 Расчет толщины стенок распределительной камеры

Рассчитаем толщину стенки для цилиндрической обечайки распределительной камеры, находящейся под нагрузкой внутреннего избыточного давления по схеме см. рис 3.3 ГОСТ 34233.2-2017.

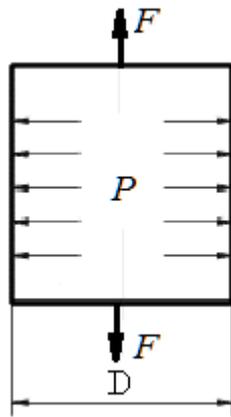


Рис. 3.3 Расчетная схема цилиндрической обечайки распределительной камеры

Расчетный параметр внутреннего избыточного давления:

$$P_{\text{расч1}} := P_{\text{раб}} = 2 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое, при нормальных условиях, напряжение для стали СтЗсп5 составляет:

$$\sigma_{20} := 154 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{201} := \text{Floor}(\eta \cdot \sigma_{20}, 0.5) = 123 \quad \text{МПа}$$

Вычислим давление для проведения испытаний на прочность:

$$P_{\text{исп1}} := 1.25 \cdot P_{\text{расч1}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} = 2.584 \quad \text{МПа} \quad (19)$$

Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях для стали СтЗсп5 составляет:

$$\sigma_{\text{гид}} := \text{Floor}\left(\frac{R_{e.20}}{n_T}, 0.5\right) = 222.5 \quad \text{МПа}$$

Рассчитаем толщину стенки для рабочего давления, и для гидравлического испытания:

$$S_{\text{гид}} := \max\left(\frac{P_{\text{расч1}} \cdot D_{\text{внут}}}{2 \cdot \sigma_t \cdot \varphi - P_{\text{расч1}}}, \frac{P_{\text{исп1}} \cdot D_{\text{внут}}}{2 \cdot \sigma_{\text{гид}} \cdot \varphi - P_{\text{исп1}}}\right) = 2.703 \quad (20)$$

Зададимся исполнительной толщиной стенки цилиндрической обечайки распределительной камеры:

$$s_{\text{обечайки}} := \text{ceil}(S + c_1) = 5 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину стенки кожуха распределительной камеры согласно ГОСТ 34233.2-2017 [5]

$$s_{\text{обечайки.действ1}} := 8 \quad \text{мм}$$

Проверим будет ли выполняться для обечаек условие применимости формул при значении  $D > 200$

$$P_{\text{prov}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \frac{s_{\text{обечайки.действ1}} - c_1}{D_{\text{внут}}} \leq 0.1 \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$P_{\text{rov}} = \text{"Условие выполняется"}$

Рассчитаем допускаемое внутреннее избыточное давление:

- для рабочих условий:

$$P_{\text{доп.рабоч.об1}} := \frac{2 \cdot \sigma_t \cdot \varphi \cdot (s_{\text{обечайки.действ1}} - c_1)}{D_{\text{внут}} + (s_{\text{обечайки.действ1}} - c_1)} = 4.404 \quad \text{МПа}$$

- в условиях при испытании:

$$P_{\text{доп.испыт.об1}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \varphi \cdot (s_{\text{обечайки.действ1}} - c_1)}{D_{\text{внут}} + (s_{\text{обечайки.действ1}} - c_1)} = 6.576 \quad \text{МПа}$$

Произведем проверку на выполнение условий прочности цилиндрической обечайки распределительной камеры

Сделаем проверку выполнения условий прочности цилиндрической обечайки в рабочих условиях, под действием внутреннего давления .

$$U_{\text{проч.раб1}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{доп.рабоч.об1}} \geq P_{\text{расч1}} & 4.404 \geq 2 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{доп.рабоч.об1}} < P_{\text{расч1}} & 4.404 < 2 \end{cases}$$

$U_{\text{проч.раб}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$

Сделаем проверку выполнения условий прочности цилиндрической обечайки распределительной камеры в условиях испытания, под действием внутреннего давления

$$U_{\text{проч.исп1}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{доп.испыт.об1}} \geq P_{\text{расч1}} & 6.576 \geq 2 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{доп.испыт.об1}} < P_{\text{исп1}} & 6.576 < 2.584 \end{cases}$$

$U_{\text{проч.исп}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$

### 3.3.3 Расчет толщины стенки эллиптической крышки

Крышки и днища теплообменных аппаратов выбираем в зависимости от диаметра кожуха. Наиболее распространенной формой днищ и крышек является эллиптическая форма с отбортовкой (рис.3.4).

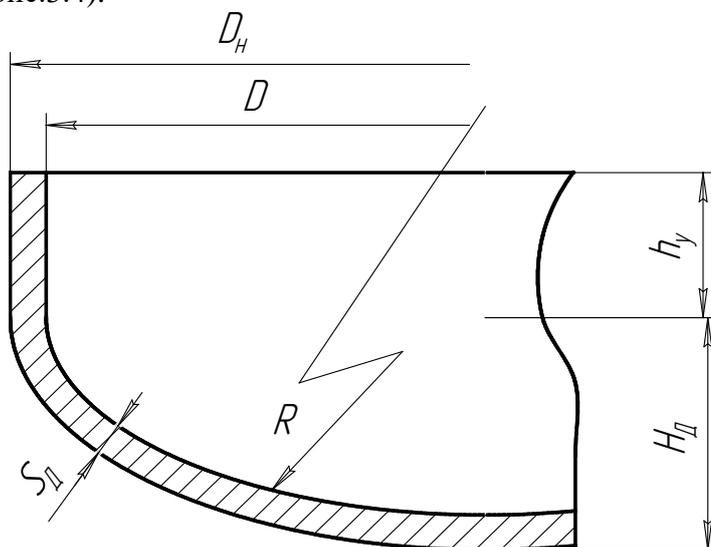


Рисунок 3.4 – Днище цилиндрическое отбортованное

По (табл. 16.1 [3]) выбираем размеры днища эллиптического отбортованного стального диаметром 400 мм:  $S_d = 8\text{мм}$ ,  $H_d = 100\text{мм}$ ,  $h_y = 25\text{мм}$ .

Днище 400×8 ГОСТ 6533-78.

Рассчитываем эллиптическую выпуклую крышку по схеме, приведенную на рис. 3.5

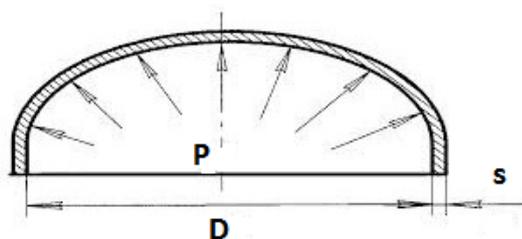


рис.3. 5 – схема эллиптической выпуклой крышки для расчета.

Расчетная толщина стенки

$$\delta_1' = \frac{p_p \cdot D}{2[\sigma_1]\varphi_1 - 0,5p_p} + c, \quad (21)$$

где  $p_p$  - расчетное давление в трубном пространстве.

$[\sigma_1] = [\sigma] = 112\text{МПа}$  - допускаемое напряжение для материала днища.

$\varphi_1 = \varphi = 1$  - коэффициент прочности сварного шва для автоматической дуговой электросварки.

$$\delta_1' = \frac{2 \cdot 400}{2 \cdot 112 \cdot 1 - 0,5 \cdot 2} + 1 = 4,6 \text{ мм.} \quad (22)$$

Принимаем  $\delta_1' = 4,6 \text{ мм}$ .

Допускаемое давление в рабочем состоянии

$$[p_1]_Д = \frac{2\varphi_1[\sigma_1](\delta_1 - c)}{D_1 + 0,5(\delta_1 - c)}; \quad (23)$$

$$[p_1]_Д = \frac{2 \cdot 1 \cdot 112 \cdot (8 - 1)}{400 + 0,5 \cdot (8 - 1)} = 3,9 \text{ МПа} > p_p = 2 \text{ МПа}.$$

Условие прочности крышки выполняется.

Условие применимости формулы.

Согласно ГОСТ 14249-80 расчетные формулы применимы для обечаек и труб с  $D \geq 200 \text{ мм}$

$$\frac{\delta_1 - c}{D} = \frac{8 - 1}{400} = 0,0175 < 0,1 - \text{условие применимости формул выполняется.}$$

В днище имеются отверстия для патрубков входа и выхода нефтяного газа. Из условий укрепления отверстий под патрубки принимаем толщину стенки днища  $\delta_1 = 8 \text{ мм}$ . Внутренний диаметр днища  $D_1 = 400 \text{ мм}$ . Второе глухое днище изготавливают по технологическим причинам с такой же толщиной 8 мм.

### 3.3.4 Расчет температурных деформаций в трубах и корпусе

Проведем расчет температурных напряжений в трубах и корпусе.

$$\alpha_k = 11,752 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1};$$

$$\alpha_T = 16,7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1};$$

где  $\alpha_k, \alpha_T$  - коэффициенты линейного расширения материалов обечайки и труб, соответственно,

$$t_k = 82,5 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{средняя температура стенки кожуха,}$$

$$t_T = 4,72 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{средняя температура стенок труб,}$$

$$E_T = 1,973 \cdot 10^5 \text{ МПа} - \text{модуль упругости материала труб (Сталь 10),}$$

$$E_K = 1,958 \cdot 10^5 \text{ МПа} - \text{модуль упругости материала корпуса (В Ст3сп5),}$$

$$F_T = 0,0285 \text{ м}^2 - \text{площадь поперечного сечения всех труб,}$$

$$F_K = 0,1256 \text{ м}^2 - \text{площадь поперечного сечения корпуса,}$$

Вышеизложенные данные используем для расчета температурных усилий по формуле

$$Q_t = \frac{(\alpha_k \cdot t_k - \alpha_T \cdot t_T) \cdot E_T \cdot F_T \cdot E_K \cdot F_K}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} =$$

$$= \frac{(11,752 \cdot 10^{-6} \cdot 82,5 - 16,7 \cdot 10^{-6} \cdot 4,74) \cdot 1,973 \cdot 10^5 \cdot 0,0285 \cdot 1,958 \cdot 10^5 \cdot 0,1256}{1,973 \cdot 10^5 \cdot 0,0285 + 1,958 \cdot 10^5 \cdot 0,1256} = 3,71 \text{ МН}$$

Температурные напряжения в корпусе и трубах равны

$$\sigma_K = \frac{Q_t}{F_K} = \frac{3,71}{0,1256} = 29,53 \text{ МПа}$$

$$\sigma_T = \frac{Q_t}{F_T} = \frac{3,71}{0,0285} = 129 \text{ МПа}$$

Сравним значения температурных напряжений в корпусе и трубах с допускаемыми напряжениями для корпуса и труб.

$$\sigma_K \leq [\sigma_K] \quad 29,53 \text{ МПа} \leq 150,19 \text{ МПа}$$

$$\sigma_T \leq [\sigma_T] \quad 129 \text{ МПа} \leq 130 \text{ МПа}$$

Рассчитанные значения температурных напряжений меньше допускаемых значений, следовательно, нет необходимости установки компенсирующего устройства.

### 3.3.5 Укрепление отверстий

#### 3.3.5.1 Расчет укрепления отверстий в цилиндрической обечайке кожуха

Расчет производим согласно расчетной схеме рис. 3.6 по ГОСТ 34233.3-2017 [7]

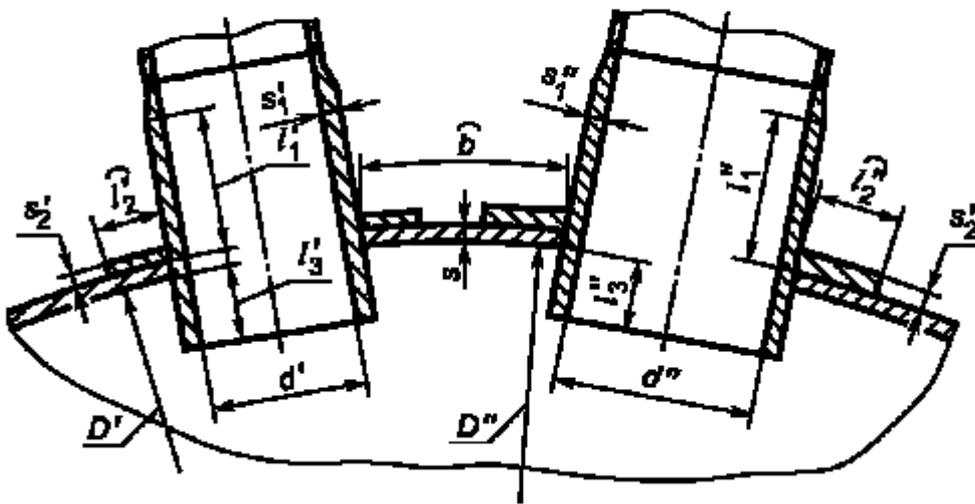


Рис. 3.6 – расчетная схема укрепления отверстий в цилиндрической обечайке

## Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки	$D := 400$	мм
Марка стали	Ст3сп5	
Внутреннее расчетное давление	$P_r := 1$	МПа
Расчётная температура	$t_R := 100$	С°
Исполнительная толщина стенки	$s_w := 8$	мм
Исполнительный диаметр отверстия	$d := 50$	мм
Исполнительная ширина накладного кольца	$l_2 := 50$	мм
Длина внешней части штуцера	$l_1 := 150$	мм
Длина внутренней части штуцера	$l_3 := 0$	мм
Прибавка расчетной толщины стенки (обечайки,штуцера)	$cc := 2$	мм
Коэффициент прочности сварных соединений	$\phi := 1$	
Толщина стенки (внутренней) штуцера	$s_1 := 5$	мм
Толщина стенки (внешней) штуцера	$s_3 := 6$	мм
Исполнительная толщина накладного кольца	$s_2 := 4$	

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре, МПа

$$\sigma_d := 149$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре

$$\sigma_{d1} := \sigma_d$$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре

$$\sigma_{d2} := \sigma_d$$

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре

$$\sigma_{d3} := \sigma_d$$

Диаметр укрепляемого элемента и расчётный диаметр отверстия в стенке обечайки:

$$D_p := D \quad d_p := \text{Ceil}(d + 2 \cdot cc, 1)$$

$$D_p = 400 \quad \text{мм} \quad d_p = 54 \quad \text{мм}$$

Условия применимости формул:

$$U := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_p - 2 \cdot cc}{D} > 1.0 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{s - cc}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U = \text{"Условия применения формул выполняются"} \quad \frac{s - cc}{D} = 0.015$$

Расчёт толщины стенок

Цилиндрической обечайки:

$$s_p := \frac{P_r \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} \quad s_p = 1.347 \quad \text{мм}$$

Штуцера:

$$s_{p1} := \frac{P_r \cdot (d + 2 \cdot cc)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} \quad s_{p1} = 0.182 \quad \text{мм}$$

Расчётная длина штуцера

$$l_{1p} := \min\left[l_1, 1.25 \sqrt{(d + 2 \cdot cc) \cdot (s_1 - cc)}\right] \quad l_{1p} = 15.91 \quad \text{мм}$$

$$l_{3p} := \min\left[l_3, \sqrt{(d + 2 \cdot cc) \cdot (s_3 - cc)}\right] \quad l_{3p} = 0 \quad \text{мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_o := \sqrt{D_p \cdot (s - cc)} \quad L_{o_{\text{min}}} := \text{Ceil}(L_o, 1)$$

$$L_o = 49 \quad \text{мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления в стенке обечайки

$$l_p := L_o \quad l_p = 49 \quad \text{мм}$$

Расчётная ширина накладного кольца

$$l_{2p} := \min\left[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - cc)}\right] \quad l_{2p} = 50 \quad \text{мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

$$\text{-для внешней части штуцера} \quad \chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_1 = 1$$

$$\text{-для накладного кольца} \quad \chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_2 = 1$$

$$\text{-для внутренней части штуцера} \quad \chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_3 = 1$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - cc)} \quad d_{op} = 19.596 \quad \text{мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия:

$$U2 := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d < d_{op} \\ \text{"Укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

U2 = "Укрепление отверстия не требуется"

Проверка условия укрепления одиночного отверстия:

$$A_1 := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - cc) \cdot \chi_1 \quad A_1 = 44.837 \quad \text{мм}^2$$

$$A_2 := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 \quad A_2 = 200 \quad \text{мм}^2$$

$$A_3 := l_{3p} \cdot (s_3 - 0 - cc) \cdot \chi_3 \quad A_3 = 0 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{p.c} := l_p \cdot (s - s_p - cc) \quad A_{p.c} = 228.007 \quad \text{мм}^2$$

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p \quad A_p = 23.168 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Sum} := A_1 \cdot \chi_1 + A_2 \cdot \chi_2 + A_3 \cdot \chi_3 + A_{p.c} \quad \text{Sum} = 472.844 \quad \text{мм}^2$$

$$Us1_3 := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняется"} & \text{if } \text{Sum} \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

### 3.3.5.2 Расчет укрепления отверстий в распределительной камере

Расчет производим согласно расчетной схеме рис. 3.7 по ГОСТ 34233.3-2017 [7]

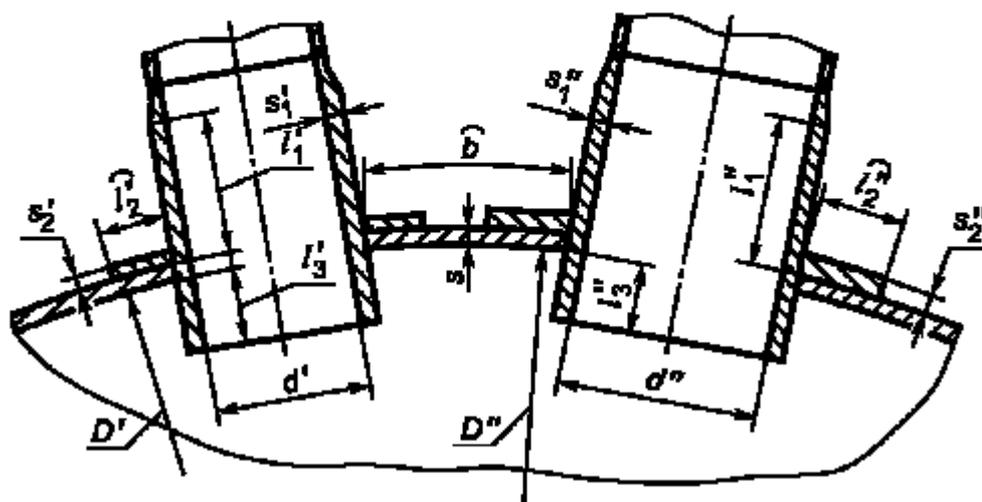


Рис. 3.7 – расчетная схема укрепления отверстий в цилиндрической обечайке

#### Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки	$\underline{D} := 400$ мм
Марка стали	Ст3сп5
Внутреннее расчетное давление	$\underline{P}_k := 2$ МПа
Расчётная температура	$\underline{t}_{Rw} := 100$ С°
Исполнительная толщина стенки	$\underline{s}_w := 8$ мм
Исполнительный диаметр отверстия	$\underline{d} := 150$ мм

Исполнительная ширина  
накладного кольца  $l_{2a} := 100$  мм

Длина внешней части штуцера  $l_{1v} := 150$  мм

Длина внутренней части штуцера  $l_{2a} := 0$  мм

Прибавка расчетной толщины стенки  
(обечайки,штуцера)  $cc := 2$  мм

Коэффициент прочности сварных  
соединений  $\phi := 1$

Толщина стенки (внутренней) штуцера  $s_{1w} := 5$  мм

Толщина стенки (внешней) штуцера  $s_{2w} := 6$  мм

Исполнительная толщина накладного кольца  $s_{2w} := 4$

Допускаемое напряжение для материала при расчётной  
температуре, МПа

$$\sigma_{d1} := 149$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной  
температуре

$$\sigma_{d1v} := \sigma_d$$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при  
расчетной температуре

$$\sigma_{d2v} := \sigma_d$$

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при  
расчетной температуре

$$\sigma_{d3v} := \sigma_d$$

Диаметр укрепляемого элемента и расчётный диаметр отверстия в стенке  
обечайки:

$$D_{pv} := D \quad d_{pv} := \text{Ceil}(d + 2 \cdot cc, 1)$$

$$D_p = 400 \quad \text{мм} \quad d_p = 154 \quad \text{мм}$$

Условия применимости формул:

$$U := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_p - 2 \cdot cc}{D} > 1.0 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{s - cc}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U = \text{"Условия применения формул выполняются"} \quad \frac{s - cc}{D} = 0.015$$

Расчёт толщины стенок

Цилиндрической оболочки:

$$s_{pv} := \frac{P_r \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} \quad s_p = 2.703 \quad \text{мм}$$

Штуцера:

$$s_{p1} := \frac{P_r \cdot (d + 2 \cdot cc)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} \quad s_{p1} = 1.041 \quad \text{мм}$$

Расчётная длина штуцера

$$l_{1pv} := \min \left[ l_1, \sqrt{(d + 2 \cdot cc) \cdot (s_1 - cc)} \right] \quad l_{1p} = 21.494 \quad \text{мм}$$

$$l_{3pv} := \min \left[ l_3, \sqrt{(d + 2 \cdot cc) \cdot (s_3 - cc)} \right] \quad l_{3p} = 0 \quad \text{мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке:

$$L_{ov} := \sqrt{D_p \cdot (s - cc)} \quad L_{ov} := \text{Ceil}(L_o, 1)$$

$$L_o = 49 \quad \text{мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления в стенке обечайки

$$l_{pv} := L_o \quad l_p = 49 \quad \text{мм}$$

Расчётная ширина накладного кольца

$$l_{2p} := \min\left[l_2 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - cc)}\right] \quad l_{2p} = 63.246 \quad \text{мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

-для внешней части штуцера  $\chi_{1s} := \min\left(1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_1 = 1$

-для накладного кольца  $\chi_{2s} := \min\left(1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_2 = 1$

-для внутренней части штуцера  $\chi_{3s} := \min\left(1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_3 = 1$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{оп} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - cc)} \quad d_{оп} = 19.596 \quad \text{мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия:

$$U2 := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d < d \\ \text{"Укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

U2 = "Укрепление отверстия не требуется"

Проверка условия укрепления одиночного отверстия:

$$A_{1s} := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - cc) \cdot \chi_1 \quad A_1 = 42.117 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{2s} := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 \quad A_2 = 252.982 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{3s} := l_{3p} \cdot (s_3 - 0 - cc) \cdot \chi_3 \quad A_3 = 0 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{p.c} := l_p \cdot (s - s_p - cc) \quad A_{p.c} = 161.568 \quad \text{мм}^2$$

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p \quad A_p = 181.627 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Sum} := A_1 \cdot \chi_1 + A_2 \cdot \chi_2 + A_3 \cdot \chi_3 + A_{p.c} \quad \text{Sum} = 456.667 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Usl}_3 := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняется"} & \text{if } \text{Sum} \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Usl}_3 = \text{"Условие укрепления отверстия выполняется"}$$

### 3.3.6 Расчет трубной решетки

Трубные решетки изготавливаются обычно цельными вырезкой из листа. Для каждого крепления трубок в трубной решетке ее толщина  $S_{p(\min)}$  должна быть не менее (табл. 2.3 [24])

$$S_{p(\min)} = \frac{d_n}{8} + e, \quad (24)$$

где  $e = 5$  - прибавка для стальных трубных решеток, мм;

$d_n = 16$  мм - наружный диаметр теплообменных трубок.

По формуле:

$$S_{p(\min)} = \frac{16}{8} + 5 = 7 \text{ мм}.$$

Толщину трубной решетки выбираем в зависимости от диаметра кожуха аппарата и условного давления в аппарате, (табл. 2.3 [1]):

$$S_p = 48 \text{ мм}.$$

Размещение отверстий в трубных решетках, их шаг регламентируется для всех теплообменников ГОСТ Р 55601-2013.

По ( стр. 75 [24]) определяем шаг при размещении труб по вершинам равносторонних треугольников: при  $d_n = 16$  мм,  $s = 21$  мм; отверстия под трубы в трубных решетках и перегородках размещаем в соответствии с ГОСТ Р 55601-2013.

Размещение отверстий в трубных решетках выбранного аппарата показано на рис. 3.8.

Основные размеры для размещения отверстий под трубы 16 x 2 мм в трубных решетках выбираем по (табл. 2.4 [24]), диаметр предельной окружности, за которой не располагаем отверстия под трубы, -  $D_0 = 387$  мм,  $2R = 383$  мм.

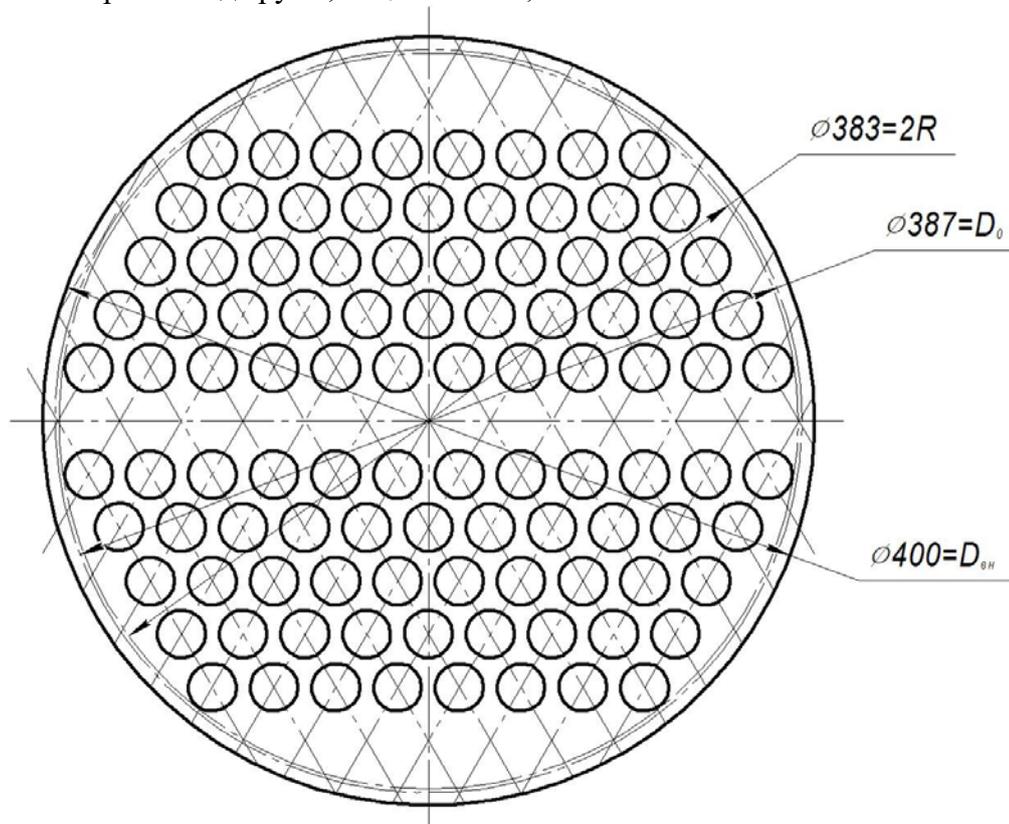


Рис. 3.8 – Размещение отверстий в трубных решетках

Число отверстий под трубы в трубной решетке и перегородках по рядам (табл. 2.5 [24]):

1 – 126 шт;

2 – 126 шт;

Общее число труб в решетке – 252 шт.

Отверстия в трубных решетках выполняем гладкими. По ГОСТ Р 55601-2013 под трубы с наружным диаметром 16 мм установлен диаметр 16,3 мм.

Крепление труб в трубной решетке должно быть прочным, герметичным и обеспечивать их легкую замену. Применяем для крепления труб способ развальцовки с последующей отбортовкой (рис. 3.9).

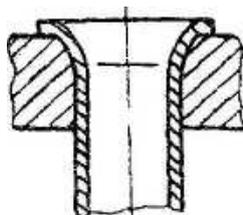


Рис. 3.9 – Крепление труб в трубной решетке развальцовкой с отбортовкой

Расчет произведём для конструкции аппарата имеющего эффективный коэффициент концентрации напряжений в местах крепления решетки к фланцу  $k_{\sigma} \leq 1,7$ , и предназначенного для работы под давлением до 6,4МПа.

Толщину трубной решетки выбираем конструктивно примем её равной 48 мм. Она должна обеспечить возможность крепления труб в решетки.

При отсутствии дополнительных требований к жесткости решетки должно выполняться условие:

$$\frac{a - a_1}{\delta_p} \leq 3,$$

где  $a = \frac{D_{вн}}{2} = \frac{0,4}{2} = 0,2\text{ м}$  - внутренний радиус корпуса аппарата;

$a_1 = 0,191\text{ м}$  - расстояние от оси корпуса до оси наиболее удалённой от нее трубы;

$\delta_p = 0,037\text{ м}$  - принятая толщина фланца трубной решетки

$$\frac{0,2 - 0,191}{0,037} = 0,22 < 3.$$

Условие выполняется, поэтому производим упрощенный расчет.

Определяем основные и вспомогательные параметры трубной решетки и связанных с ней элементов теплообменного аппарата.

Относительная характеристика беструбного края решетки

$$m_n = \frac{a}{a_1};$$
$$m_n = \frac{0,2}{0,191} = 1,05.$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку

$$\eta_M = 1 - \frac{nd_n^2}{4a_1^2};$$

$$\eta_M = 1 - \frac{252 \cdot 0,016^2}{4 \cdot 0,191^2} = 0,56;$$

$$\eta_T = 1 - \frac{n(d_n - 2\delta_T)^2}{4a_1^2};$$

$$\eta_T = 1 - \frac{252 \cdot (0,016 - 2 \cdot 0,002)^2}{4 \cdot 0,191^2} = 0,75,$$

где  $\delta_T = 0,002 \text{ м}$  - толщина стенки трубы.

Коэффициент ослабления трубной решетки

$$\varphi_p = 1 - \frac{d_0}{t_p},$$

где  $d_0$  - диаметр отверстий в решетке под трубу, определяемый допусками на размеры труб и отклонениями при изготовлении отверстий

$$d_0 = d_n + (0,016 \div 0,020) \cdot d_n;$$

$$d_0 = 0,016 + 0,016 \cdot 0,016 = 0,0163 \text{ м},$$

$s = t_p = 0,021 \text{ м}$  - принятый шаг расположения отверстий в решетке,

$$\varphi_p = 1 - \frac{0,0163}{0,021} = 0,224.$$

Значение коэффициента жесткости трубной решетки  $\psi_0$  определяем в зависимости от  $\eta_T$ .

При  $\eta_T = 0,75$   $\psi_0 = 0,398$ .

Модуль упругости основания, характеризующий жесткость системы труб

$$k_y = \frac{E_m(\eta_T - \eta_M)}{l},$$

где  $E_m$  - модуль упругости материала труб,  $E_m = 106500 \text{ МН} / \text{м}^2$ ,

$l = 1 \text{ м}$  - половина длины трубы,

$$k_y = \frac{106500 \cdot (0,75 - 0,56)}{1} = 20235 \text{ МН} / \text{м}^3.$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости обечайки

$$\rho = \frac{k_y \cdot a_1 \cdot l}{E_k \cdot \delta_k},$$

где  $E_k = 213000 \text{ МН} / \text{м}^2$  - модуль упругости материала обечайки,

$\delta_k = 0,008 \text{ м}$  - толщина стенки обечайки,

$$\rho = \frac{20235 \cdot 0,191 \cdot 1}{213000 \cdot 0,008} = 2,27.$$

Приведенное давление

$$P_0 = [\alpha_k (t_k - t_0) - \alpha_T (t_0 - t_T)] k_y \cdot l + [\eta_T - 1 + m_{cp} + m_n (m_n + 0,5 \rho \cdot k_q)] p_p - \\ - [\eta_M - 1 + m_{cp} + m_n (m_n + 0,3 \rho \cdot k_p)] p_n,$$

где  $\alpha_k$ ,  $\alpha_T$  - коэффициенты линейного расширения материалов обечайки и труб соответственно,

$$\alpha_k = 11,752 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$$

$$\alpha_T = 16,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ C};$$

$t_k = 82,5$  - средняя температура стенки кожуха,

$t_T = 4,74$  - средняя температура стенок труб,

$t_0 = 20^\circ C$  - температура сборки аппарата,

$k_q$ ,  $k_p$  - коэффициенты жесткости системы трубы – обечайки.

Для аппарата с неподвижными трубными решетками  $k_q = 1$  и  $k_p = 1$ ,

$m_{cp}$  - вспомогательная величина

$$m_{cp} = \frac{0,15 \cdot n (d_n - \delta_T)^2}{a_1^2};$$

$$m_{cp} = \frac{0,15 \cdot 252 \cdot (0,016 - 0,002)^2}{0,191^2} = 0,149.$$

$$m_{II} = \frac{D^2 - n \cdot (d_n - 2 \cdot \delta_T)^2}{4 \cdot a_1^2};$$

$$m_{II} = \frac{0,4^2 - 252 \cdot (0,016 - 2 \cdot 0,002)^2}{4 \cdot 0,191^2} = 0,85;$$

$$p_0 = [12,5 \cdot 10^{-6} (82,5 - 20) - 16,7 \cdot 10^{-6} (20 - 4,74)] \cdot 20235 \cdot 1 + \\ + [0,75 - 1 + 0,149 + 0,85 \cdot (0,85 + 0,5 \cdot 2,27 \cdot 1)] \cdot 2 - \\ - [0,56 - 1 + 0,149 + 0,85 \cdot (0,85 + 0,3 \cdot 2,27 \cdot 1)] \cdot 2,6 = 6,75 \text{ МПа}$$

Толщина трубной решетки должна быть не менее

$$\delta_{p \text{ min}} = \frac{f_1 \cdot \delta_k}{\eta_T - \eta_M} + c,$$

где  $f_1 = f(A', B')$  - вспомогательный коэффициент.

$c = 1,0 \text{ мм}$  - прибавка из конструктивных соображений.

Определяем  $f_1$  по графику [3], рис. 8.11, с.266,

где  $A'$ ,  $B'$  - вспомогательные величины,

$$A' = \frac{P_0}{2[\sigma_a] \cdot k_q \cdot \varphi_p};$$

$$B' = \frac{\psi_0 \cdot l}{\delta_k},$$

где  $[\sigma_a]$  - амплитудное допускаемое напряжение для материала решетки. Оно зависит от числа теплосмен  $N$  за время всего срока службы аппарата.

$A'$  - коэффициент, учитывающий усилие, возникающие в трубной решетке;

$B'$  - коэффициент, учитывающий геометрию теплообменного аппарата.

Так как число теплосмен не оговорено, то принимаем  $N = 1000$ .

При  $N = 1000 \div 2000$  по ОСТ 26-1185-81  $[\sigma_a] = 230 \div 490 \text{ МПа}$  - для углеродистых сталей.

Принимаем  $[\sigma_a] = 400 \text{ МПа}$ ,

$$A' = \frac{6,75}{2 \cdot 400 \cdot 1 \cdot 0,224} = 0,038$$

$$B' = \frac{0,398 \cdot 1}{0,008} = 50;$$

$$f = 0,1.$$

Минимальная толщина трубной решетки

$$\sigma_{p \text{ min}} \geq \frac{0,1 \cdot 8}{0,75 - 0,56} + 1 = 5,2 \text{ мм}.$$

Примем толщину трубной решетки равной 48 мм.

Удельное осевое усилие в кожухе

$$F = \pi a^2 \left[ p_p - \frac{p_0}{1 + \rho \cdot k_q} \right];$$

$$F = 3,14 \cdot 0,191^2 \left[ 2,6 - \frac{6,84}{1 + 2,27 \cdot 1} \right] = 0,058 \text{ МН / м}.$$

Осевая сила в трубе

$$N_T = \pi \cdot a_1^2 \frac{(\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_p) + f_2 \cdot p_0}{n},$$

где  $f_2$  - коэффициент учитывающий степень влияния приведенного давления на осевое усилие в трубе трубной решетки.

$$f_2 = \frac{\sqrt[4]{z}}{\sqrt[4]{z} + k_q},$$

где  $z$  - вспомогательный коэффициент;

$$z = \frac{43,7}{B'} \left[ \frac{\delta_k}{\delta_p (\eta_T + \eta_M)} \right]^3;$$

$$z = \frac{43,7}{50} \left[ \frac{8}{37 \cdot (0,75 + 0,56)} \right]^3 = 0,004;$$

$$f_2 = \frac{\sqrt[4]{0,004}}{\sqrt[4]{0,004 + 1}} = 0,2,$$

$$N_{TP} = 3,14 \cdot 0,191^2 \frac{(0,56 \cdot 2,5 - 0,75 \cdot 1,6) + 0,2 \cdot 6,84}{252} = 0,71 \cdot 10^{-3} \text{ МН}.$$

Проверку прочности труб и прочности крепления труб в решетке проводим по выполнению условий прочности.

Условие прочности труб

$$\frac{N_{mp}}{\pi(d_n - \delta_T)\delta_T} < [\sigma_T]$$

$$\frac{0,71 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot (0,016 - 0,002) \cdot 0,002} = 8,1 \text{ МПа} < [\sigma_T] = 250 \text{ МПа},$$

где  $[\sigma_T] = 250 \text{ МПа}$  - допускаемое напряжение материала труб.

Условие прочности труб выполняется.

Условие прочности крепления труб в решетке

$$[N_{TP}] = d_n \cdot l_B \cdot [q] > N_{TP},$$

где  $[q] = 29,4 \text{ МПа}$  - допускаемая нагрузка на единицу условной поверхности соединения трубы с решеткой для труб.

$$[N_{TP}] = 0,016 \cdot 0,048 \cdot 29,4 = 0,0174 = 22,6 \cdot 10^{-3} \text{ МН} > N_{TP} = 0,71 \cdot 10^{-3} \text{ МН}.$$

Условие прочности крепления труб в решетке выполняется.

### 3.3.7 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

#### Исходные данные:

Внутренний диаметр фланца:	$D := 50$	мм
Наружный диаметр фланца:	$D_H := 150$	мм
Диаметр окружности расположения болтов:	$D_6 := 125$	мм
Наружный диаметр прокладки:	$D_{Hn} := 87$	мм
Ширина прокладки:	$b_n := 20$	мм
Толщина тарелки фланца:	$h := 15$	мм
Толщина обечайки фланца:	$S_0 := 5$	мм
Толщина прокладки:	$h_n := 2$	мм
Наружный диаметр болта:	$d := 16$	мм
Число болтов:	$n := 4$	
Расчетное давление:	$P := 1.0$	МПа
Внешний изгибающий момент:	$M := 0$	Н*мм
Осевая сила:	$F := 0$	Н
Расчетная температура:	$t := 100$	°C
Материал обечаек и фланцев штуцера:	Ст3сп5	
Материал болтов:	сталь Ст35	
Материал прокладки:	паронит ПМБ-2.0	
Прибавка на коррозию	$c_0 := 0$	мм

Фланцы плоские, неизолированные, приварные с гладкой уплотнительной поверхностью рекомендуется применять для условных давлений среды до 1.6 МПа. Принятые фланцы условно рассчитаны на давление среды до 1.6 МПа.

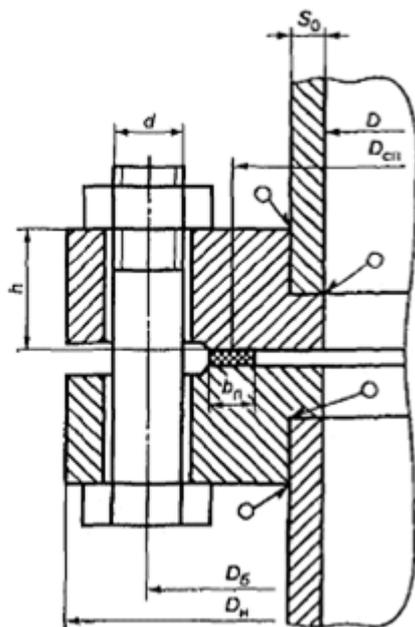


Рис. 3.10 – Фланцевое соединение с гладкой уплотнительной поверхностью

Проверка применимости методики расчета по ГОСТ 34233.4-2017 [10]:

$$\frac{D_H}{D} = 3 < 5$$

-условия выполняются

$$\frac{2 \cdot h}{D_H - D} = 0.3 \quad \mu \geq 0.25$$

Расчет фланцев и болтов(шпилек) с учетом усилий, вызванных стесненностью температурных деформаций элементов фланцевых соединений допускается не проводить, т.к. расчетная температура элементов фланцевого соединения не превышает 100 °С. [52857.4 стр.9]

Определение расчетных параметров:

В качестве крепежных элементов:

Болт М16х100.56 (019) ГОСТ 22042-76 [13]

Расчетные температуры:

расчетная температура неизолированных плоских фланцев:

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t = 96 \quad ^\circ\text{C}$$

расчетная температура болтов:

$$t_6 := 0.85 \cdot t = 85 \quad ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали СтЗсп5:

$$t_{97.75} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma_{97.75} := \begin{pmatrix} 183.3 \\ 166.7 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{d6} := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{97.75}, \sigma_{97.75}, t_6), 0.5)$$

$$\sigma_{d6} = 169.5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре:

$$E_6 := 1.925 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение для болтов при температуре 20 °С:

$$\sigma_{206} := 164 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре 20 °С:

$$E_{206} := 2 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали СтЗсп5 при t=20-100 °С:

$$\alpha_6 := 11.6 \cdot 10^{-6} \quad 1/^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение для фланцев и обечаек стали СтЗсп5:

$$t_{96} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma_{96} := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{d\phi 1} := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{96}, \sigma_{96}, t_{\phi}), 0.5)$$

$$\sigma_{d\phi} := 158 \quad \text{МПа}$$

Фланцы изготавливаются из проката поэтому:  $\eta := 1$

$$\sigma_{d\phi} := \sigma_{d\phi 1} \cdot \eta \quad \sigma_{d\phi} := 158 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для стали Ст35 при рабочей температуре:

$$E_{\phi} := 1.952 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали Ст35 при температуре 20 °С:

$$\sigma_{20\phi} := 164 \cdot \eta = 164 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для стали СтЗсп5 при температуре 20 °С:

$$E_{20\phi} := 2 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали СтЗсп5 при t=20:

$$\alpha_{\phi} := 11.7 \cdot 10^{-6} \quad 1/^{\circ}\text{C}$$

### 3.3.7.1 Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения

Эффективная ширина плоской прокладки:

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

$$b_0 = 17 \quad \text{мм}$$

$$D_{cn} := D_{Hn} - b_0 = 70 \quad \text{мм} \quad \text{-расчетный диаметр прокладки}$$

$$m := 2.5 \quad \text{-прокладочный коэффициент}$$

$$q_{об} := 20 \quad \text{МПа} \quad \text{-удельное давление обжатия прокладки}$$

$$q_d := 130 \quad \text{МПа} \quad \text{-допускаемое удельное давление}$$

$$K_{об} := 0.9 \quad \text{-коэффициент обжатия}$$

$$E_n := 0.02 \cdot 10^5 \quad \text{МПа} \quad \text{-условный модуль сжатия прокладки}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке :

$$P_{об} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot m \cdot q_{об} = 9.346 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

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

$$R_n := \begin{cases} \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot m \cdot P & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_n = 9.346 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

### 3.3.7.2 Усилия в болтах (шпильках) фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях

Суммарную площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра вычисляют по формуле:

$$f_6 := 324 \text{ мм}^2$$

$$A_6 := n \cdot f_6 = 1.296 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{cn})^2 \cdot P = 3.848 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{FM} := \max \left( \left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{cn}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{cn}} \right| \right)$$

$$Q_{FM} = 0 \quad \text{Н}$$

Податливость прокладки:

$$y_n := \frac{h_n \cdot K_{об}}{E_n \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b_n} = 2.046 \times 10^{-7} \quad \text{мм/Н}$$

Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек:

$$L_{60} := 93 - 54 = 39 \quad \text{мм}$$

Эффективная длина болта при определении податливости:

$$L_6 := L_{60} + 0.28 \cdot d = 43.48 \quad \text{мм}$$

Податливость болтов:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 1.677 \times 10^{-7} \quad \text{мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

-параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 15.811 \quad \text{мм}$$

-отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_H}{D} = 3$$

-коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2)(K - 1)} = 1.205$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1)(K - 1)} = 2.055$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 1.88$$

$$\beta_Z := \frac{(K^2 + 1)}{(K^2 - 1)} = 1.25$$

-коэффициенты для фланцевых соединений с плоскими фланцами:

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

-коэффициент  $\lambda$ :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 3.832$$

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20\phi} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 1.652 \times 10^{-9}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20\phi} \cdot h^3 \cdot D_H} = 5.981 \times 10^{-10}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$C_F := \max \left[ 1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left( 2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m - 0.5} \right)}} \right] = 1.129$$

Приведенный диаметр плоского фланца:

$$D_{np} := D$$

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

$$b := 0.5 \cdot (D_6 - D_{cn}) = 27.5 \quad \text{мм}$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{cn} - D - S_0) = 7.5 \quad \text{мм}$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$S_{\theta} := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев:

$$\gamma := \frac{1}{y_n + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20\phi}}{E_{\phi}}} = 3.402 \times 10^5$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_n - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_n + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}} = 1.166$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\phi} H \cdot b \cdot \left( b + e - \frac{e^2}{D_{cn}} \right)}{y_6 + y_n \cdot \left( \frac{D_6}{D_{cn}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi} H \cdot b^2} = 0.749$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций:

$$Q_t := \gamma \cdot [2 \cdot \alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)] = 1.38 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{61} := \max \left[ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_n + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{cn}}, \alpha \cdot (Q_d + F) + R_n + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{cn}} - Q_t \right]$$

$$P_{61} = 1.383 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения в обжатие прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{06} = 9.346 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_{62} := \max(P_{06}, 0.4 \cdot A_6 \cdot \sigma_{206}) = 9.346 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{6M} := \max(P_{61}, P_{62}) = 9.346 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевого соединения в рабочих условиях:

$$P_{6p} := P_{6M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{cn}} = 9.42 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

### 3.3.7.3 Проверка прочности болтов и прокладки

Расчетные напряжения в болтах:

-при затяжке:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_6} = 72.116 \quad \text{МПа}$$

-в рабочих условиях

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p}}{A_6} = 72.688 \quad \text{МПа}$$

Проверка условий прочности болтов при затяжке и в рабочих условиях:

$$U1 := \begin{cases} \text{"Условия проч. при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия проч. в р. условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{d6} \\ \text{"Условия проч. выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

U1 = "Условия проч. выполняются"

$$\sigma_{61} = 72.116 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{206} = 164 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{62} = 72.688 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{d6} = 169.5 \quad \text{МПа}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6p})}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b_n} = 21.418 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности прокладки:

$$U2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

U2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

$$q = 21.418 \quad \text{МПа} \quad q_d = 130 \quad \text{МПа}$$

### 3.3.7.4 Условие статической прочности фланцев

Расчетный изгибающий момент, действующий на плоский фланец при затяжке:

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b = 2.902 \times 10^6 \quad \text{Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на плоский фланец в рабочих условиях:

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

$$M_P = 2.958 \times 10^6 \quad \text{Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

-меридианальное изгибное напряжение в обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{np}} = 605.933 \quad \text{МПа}$$

-напряжения в тарелке плоского фланца в условиях затяжки:

-радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 144.629 \quad \text{МПа}$$

-окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 304.236 \quad \text{МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

-меридианальное изгибное напряжение для плоского фланца:

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{np}} = 617.539 \quad \text{МПа}$$

-максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

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

$$\sigma_{0MP} = 4.455 \quad \text{МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного плоского фланца в рабочих условиях:

-радиальное напряжение:

$$\sigma_{RP} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 147.399 \quad \text{МПа}$$

-окружное напряжение:

$$\sigma_{TP} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RP} = 310.063 \quad \text{МПа}$$

### 3.3.7.5 Проверка условий статической прочности фланцев

$$\sigma_{Pmax} := \max \left( \left( \begin{array}{l} |\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} - \sigma_{TP}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{RP}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{0MP}| \end{array} \right) \right)$$

$$\sigma_{3max} := \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) = 910.169$$

$x_1$  := "Условие статической проч. при затяжке и в р.усл. выполняется"

$x_2$  := "Условие статической прочности НЕ выполняется"

$K_T := 1.5$  (с учетом стесненности температурных деформаций)

$$U3 := \begin{cases} x_1 & \text{if } \sigma_{3max} < 1.44 \cdot \sigma_{20\phi} \wedge \sigma_{Pmax} < 1.44 \cdot \sigma_{d\phi} \\ x_2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U3 =$  "Условие статической проч. при затяжке и в р.усл. выполняется"

$\sigma_{3max} = 910.169$	МПа	$1.3 \cdot \sigma_{20\phi} = 639.6$	МПа
	МПа	$1.3 \cdot \sigma_{d\phi} = 680.55$	МПа

### 3.3.7.6 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота плоского фланца:

$$\Theta := M_{P \cdot y_{\phi}} \cdot \frac{E_{20\phi}}{E_{\phi}} = 5.007 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца:

$$\Theta_d := 0.013$$

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

$$U_{Pov} = \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"}$$

### 3.3.8 Выбор конструктивной схемы поперечных перегородок

Применяем внутренние поперечные перегородки с диаметрально чередующимися в них сегментными средами для поддержания расстояния между трубами (рис. 3.11).

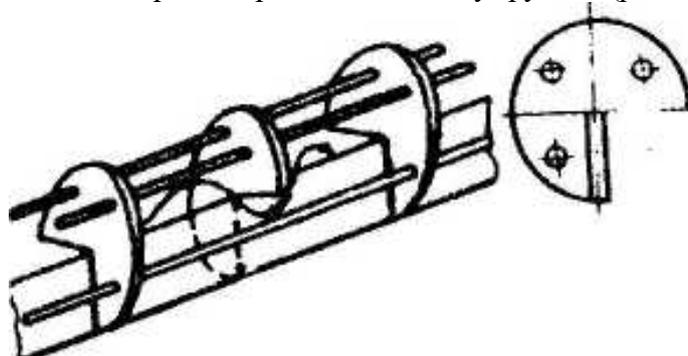


Рисунок 3.11 – Конструктивная схема поперечных перегородок

Диаметр отверстий для труб в перегородках 19 мм (ГОСТ 15118-79). Номинальный диаметр поперечных перегородок 397 мм (с. 85 [24]).

Неподвижные трубные решетки занимают место во впадинах фланцев корпуса и крышек. Расстояние между перегородками принимаем по табл. 2.9 [24] равным 400 мм.

Взаимное расположение поперечных перегородок фиксируем несколькими стяжками между ними. Стяжки придают пучку жесткость и дополнительную прочность, обеспечивают удобства его сборки. Они представляют собой тяги из круглого прутка, пропущенные через отверстия перегородок и трубных решеток.

В промежутке между перегородками надеты распорные трубки. Число стяжек принимаем в зависимости от диаметра аппарата (стр. 86 [24]):

диаметр стяжек – 12;

число стяжек – 6.

Распределительная камера направляет поток рабочей среды по теплообменным трубкам. Для создания нужного числа ходов внутри распределительной камеры устанавливаем перегородки. Узел их соединения с трубной решеткой герметизируют прокладкой, уложенной в паз трубной решетки (рис. 3.12).

Толщина перегородки принимаем равной  $s_n = 6$  мм (табл. 2.10 [24]). Толщину стенки распределительной камеры принимаем равной толщине корпуса (обечайки) аппарата  $s_k = 8$  мм.

Высота обечайки распределительной камеры зависит от диаметра фланцев штуцеров распределительной камеры и рассчитывается по формуле (стр. 88 [1])

$$H = D_{\phi} + (1...3)h, \quad (18)$$

где  $D_{\phi}$  – диаметр фланца штуцера распределительной камеры, м;

$h$  – высота фланца штуцера на обечайке распределительной камеры, м.

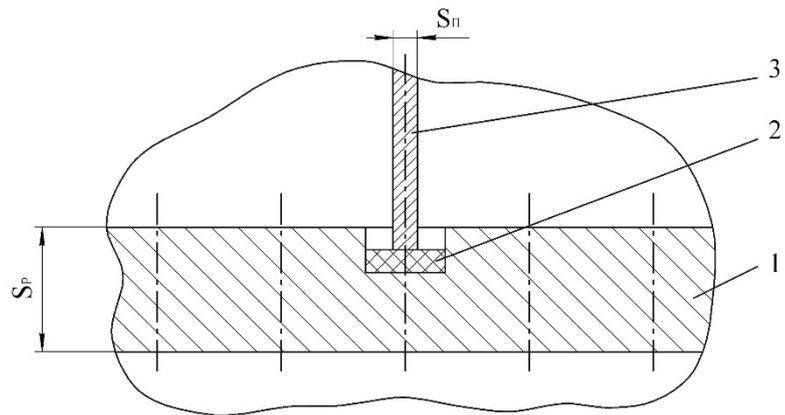


Рис. 3.12 – Узел соединения перегородки распределительной камеры с трубной решеткой: 1 – трубная решетка; 2 – прокладка; 3 – перегородка

### 3.3.9 Опоры аппарата

Для выбора опоры аппарата необходимо рассчитать нагрузку на одну опору.

$G_a=1244$  кг – масса аппарата и теплоносителя.

$g=9,8$  м/с<sup>2</sup> – скорость свободного падения.

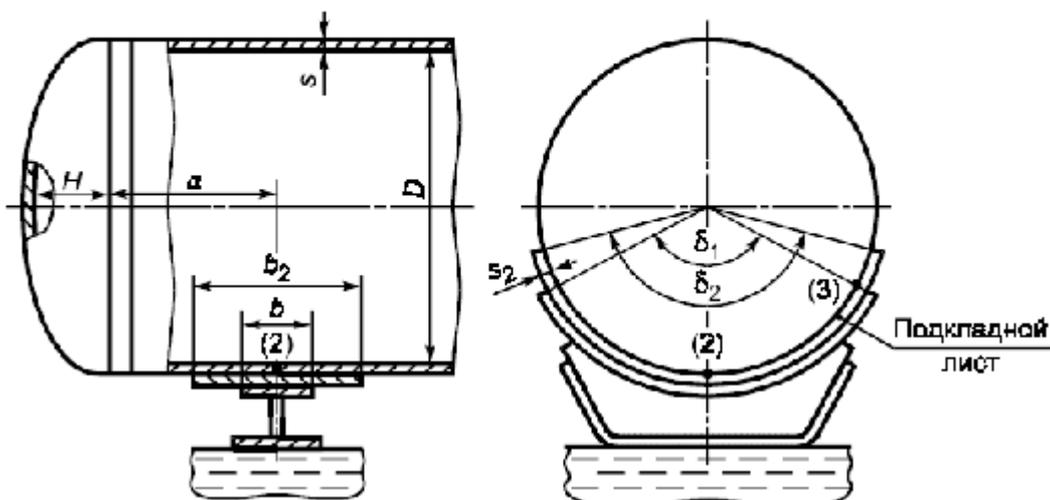
$Z=2$  – количество опор.

Нагрузка на одну опору:

$$F = \frac{G_a \cdot g}{z} = \frac{1244 \cdot 9.8}{2} = 6095.9 \text{ Н} = 6.1 \text{ кН} = 0.061 \text{ МН}$$

Расчет согласно ГОСТ Р 52857.5-2007 [20]

**Произведем вычисление седловых опор.**



На рис. 3.13 – представлена схема обечайки, необходимая для расчета, не подкрепленной кольцами жесткости

Произведем анализ применимости формул для расчёта:

- $\delta_1 := 120$  Принимаем охватываемый угол опорного листа  
 $\delta_2 := 150$  Принимаем охватываемый угол подкладного листа  
 $s_2 := 12$  Принимаем толщину подкладного листа  
 $H_{кр} := 0.85$  м

$$\text{Пров} := \begin{cases} \text{"Формулы применимы"} & \text{if } \left. \begin{array}{l} \delta_2 \geq \delta_1 + 20 \\ s_2 \geq s_{обечайки\,действ} \end{array} \right\} \\ \text{"Формулы не применимы"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров = "Формулы применимы"

Произведем вычисление усилий необходимых для расчетов

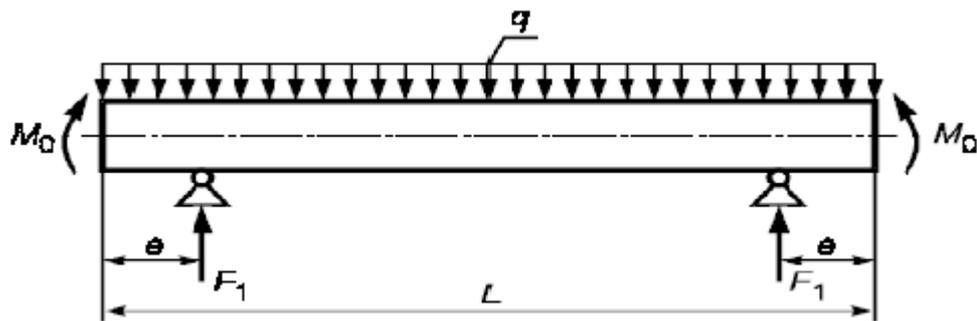


рис. 3.14 –схема, необходимая для расчета и определения усилий

$$q := \frac{G_{ан2}}{L + (H_{кр}) \cdot \frac{4}{3}} = 2.026 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D_n^2 \cdot 10^{-6}}{16} = 21.916 \quad \text{Н*м}$$

Произведем расчёт и анализ поперечных усилий и изгибающих моментов:

$$e := 4.25$$

$$a := 4.$$

Произведем вычисление момента над опорой:

$$M_1 := \left| \left( \frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 \right) \right| = 8.095 \times 10^4 \quad \text{Н*м}$$

$$M_2 := M_1 = 8.095 \times 10^4 \quad \text{Н*м}$$

Произведем вычисление максимального момента м/у опорами:

$$M_{12} := M_0 + F_1 \cdot \left( \frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left[ \frac{L}{2} + \frac{2}{3} \cdot (H_{кр}) \right]^2 = 9.611 \times 10^4 \quad \text{Н*м}$$

Рассчитаем поперечное усилие над опорой в сечении оболочки:

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot (H_{кр})} \cdot F_1 = 5.833 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Произведем анализ сечения м/у опорами несущей способности обечайки

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} := \begin{cases} \text{"Выполняется"} & \text{if } M_{12} > M_1 \\ \text{"Требуется проверка несущей способности обечайки"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} = \text{"Выполняется"}$$

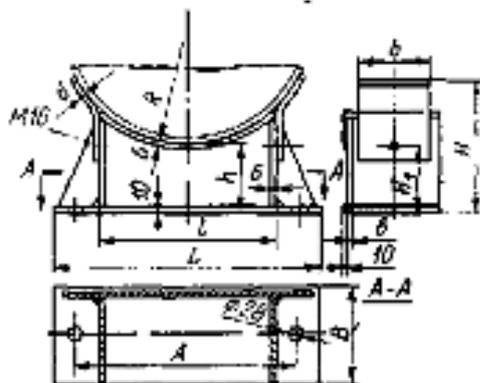


Рисунок 3.15 – Седловая опора

Горизонтальные аппараты устанавливают на седловые опоры. Все они стандартизованы. Выбираем опору для аппарата исполнением 1 с двумя отверстиями под фундаментный болт.

По [3, табл. 29.11] выбираем седловую опору типа ОГ с  $D_6 = 426 \text{ мм}$  на нагрузку 0,11 МН, так как эта нагрузка удовлетворяет расчетной: «Опора ОГ-426-11 МН 5131-63» и ее основные размеры.

$L = 450 \text{ мм}; l = 240 \text{ мм}; B = 180 \text{ мм}; H = 240 \text{ мм}; H_1 = 120 \text{ мм}; h = 135 \text{ мм};$   
 $A = 330 \text{ мм}; R = 213 \text{ мм}; b = 140 \text{ мм}, m = 15,5 \text{ кг}.$

### 3.4 Гидравлический расчет аппарата

Целью гидравлического расчета является определение величины потери давления теплоносителей при движении их через теплообменные аппараты.

Рассчитаем перепад давления горячего и холодного теплоносителей в ТА

Перепад давления в трубном пространстве.

где  $\Delta P_{\text{п.тр}}$  – перепад давления, обусловленное потерями на трение;

$\Delta P_{\text{м.с.}}$  – перепад давления, обусловленное местными сопротивлениями;

$\Delta P_{\text{нив}}$  – перепад давления, обусловленное изменением центра тяжести потока;  $\Delta P_{\text{уск}}$  – перепад давления, обусловленное ускорением потока теплоносителя.

$$\Delta P_{\text{п.тр}} = \lambda \frac{l \cdot n_x \cdot \rho_2 \omega_2^2}{d_1 \cdot 2};$$

$Re = 0,138 \cdot 10^6 > 2300 \rightarrow$  коэффициент гидравлического трения

$$\lambda = \frac{1}{(1,82 \cdot \lg Re - 1,64)^2} = \frac{1}{(1,82 \cdot \lg(0,138 \cdot 10^6) - 1,64)^2} = 0,0168;$$

$$\Delta P_{\text{п.тр}} = 0,0168 \cdot \frac{2 \cdot 2}{12 \cdot 10^{-3}} \frac{19,51 \cdot 6,5^2}{2} = 2308 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{\text{м.с.}} = (\xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{вых}} + \xi_n(n_x - 1)) \frac{\rho_2 \omega_2^2}{2},$$

где  $\xi_{\text{вх}} = \xi_{\text{вых}} = 1$  – коэффициенты местных сопротивлений на входе и выходе из трубного пространства;  $\xi_n = 2,5$  – коэффициент местных сопротивлений в промежуточной камере при переходе потока из одной секции трубного пространства в другое (поворот потока на  $180^\circ$ ).

$$\Delta P_{\text{м.с.}} = [1 + 1 + 2,5 \cdot (2 - 1)] \frac{19,51 \cdot 6,5^2}{2} = 2885 \text{ Па}.$$

При использовании горизонтального ТА  $\Delta P_{\text{нив}} = 0$ ;

$\Delta P_{\text{уск}} = 0$  – незначительное изменение плотности теплоносителя.

Тогда

$$\Delta P_{\text{тр}} = 2308 + 2885 = 5193 \text{ Па}.$$

Перепад давления в межтрубном пространстве.

$$\Delta P_{\text{мтр}} = \Delta P_{\text{п}} + \Delta P_{\text{в.п}} + \Delta P_{\text{в.к}} + \Delta P_{\text{в.м}} + \Delta P_{\text{нив}} + \Delta P_{\text{уск}},$$

где  $\Delta P_{\text{п}}$  – перепад давления при поперечном омывании пучка труб между перегородками;  
 $\Delta P_{\text{в.п}}$  – перепад давления в окнах сегментных перегородок;  
 $\Delta P_{\text{в.к}}$  – перепад давления во входной и выходной секциях межтрубного пространства;  $\Delta P_{\text{в.м}}$  – перепад давления на входе и выходе из межтрубного пространства;

$$\Delta P_{\text{п}} = \Delta P_{\text{по}} (N_{\text{пер}} - 1) x_1 x_2,$$

где  $\Delta P_{по}$  – перепад давления при обтекании идеального пучка труб поперечным потоком;

$$\Delta P_{по} = 2z_n b_1 \left( \frac{1,33d_n}{t} \right)^b \text{Re}^{b_2} \rho_{\text{мтр}} \omega_{\text{мтр}}^2,$$

где  $z_n = 15$  – число рядов труб, омываемых поперечным потоком.

При  $\text{Re} = 45070 \rightarrow b_1 = 3,5; b_2 = -0,476; b_3 = 6,59; b_4 = 0,52;$

$$b = \frac{b_3}{1 + 0,14 \cdot \text{Re}^{b_4}} = \frac{6,59}{1 + 0,14 \cdot 45070^{0,52}} = 0,174.$$

Шаг труб в трубном пучке  $t = 21 \cdot 10^{-3}$  м.

В итоге

$$\Delta p_{по} = 2 \cdot 15 \cdot 3,5 \cdot \left( \frac{1,33 \cdot 0,016}{0,021} \right)^{0,174} \cdot 45070^{-0,476} \cdot 945,2 \cdot 1^2 = 606 \text{ Па}.$$

Число перегородок  $N_{пер} = 5$ .

Поправочный коэффициент  $x_1$  – учитывает влияние на перепад давления теплоносителя межтрубном пространстве потоков, проходящих в зазорах между трубами, отверстиями в перегородках, между кожухом и перегородками

$$x_1 = e^{-1,33(1+r_2)r_1^{r_1}} = e^{-0,56} = 0,57;$$

$$P_1 = -0,15(r_2 + 1) + 0,8 = 0,6185,$$

где  $r_1 = 0,184; r_2 = 0,21$  – определяющие параметры конструкции.

Поправочный коэффициент  $x_2$  – учитывает байпасные потоки.

$$x_2 = e^{-3,7r_3(1-\sqrt[3]{2r_4})} = e^{-0,407} = 0,6656,$$

где  $r_3 = 0,11; r_4 = 0$ .

В итоге  $\Delta P_{II} = 727 \cdot (2 - 1) \cdot 0,57 \cdot 0,6656 = 276 \text{ Па}$ .

$$\Delta P_{e.n} = (2 + 0,6 \cdot Z_{e.n}) \frac{\rho_2 \cdot w_2^2}{2} N_{пер} \cdot x_1 = (2 + 0,6 \cdot 3) \cdot \frac{945,2 \cdot 1^2}{2} \cdot 2 \cdot 0,57 = 2047 \text{ Па};$$

где  $Z_{вп}$  – число рядов в вырезе перегородок:  $Z_{вп} = 3$

$$\Delta P_{в.к} = 2z_n b_1 \left( \frac{1,33d_n}{t} \right)^b \text{Re}^{b_2} \rho_{\text{мтр}} \omega_{\text{мтр}}^2 \frac{z'_n}{z_n} x_2 x_3,$$

где  $z'_n = z_n + z_{в.п.} = 15 + 3 = 18$  – число рядов труб, пересекаемых перегородкой.

$$x_3 = \left( \frac{l'}{l_{вх}} \right)^{1,8} + \left( \frac{l'}{l_{вых}} \right)^{1,8} = 2 \left( \frac{l'}{l_{вх}} \right)^{1,8} = 2 \cdot \left( \frac{0,5}{0,4} \right)^{1,8} = 3,$$

где  $l' = 0,5$  м – шаг перегородок

$$l_{вх} = l_{вых} = \frac{1}{2} \left( 1 - (N_{пер} - 1) l' \right) = 0,4 \text{ м}.$$

В итоге

$$\Delta P_{e.к} = 2 \cdot 15 \cdot 3,5 \cdot \left( \frac{1,33 \cdot 0,016}{0,021} \right)^{0,174} \cdot 45070^{-0,476} \cdot 945,2 \cdot 1^2 \cdot \frac{18}{15} \cdot 0,6656 \cdot 3 = 1452 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{в.м} = \Delta P_{вх} + \Delta P_{вых} = (\xi_{вх} + \xi_{вых}) \frac{\rho_{мтр} \omega_{мтр}^2}{2},$$

где  $\zeta_{вх}=1,5$ ;  $\zeta_{вых}=1$  – коэффициенты местных сопротивлений на входе и выходе из межтрубного пространства.

В итоге

$$\Delta P_{в.м} = \Delta P_{вх} + \Delta P_{вых} = (1,5 + 1,0) \cdot \frac{945,2 \cdot 1^2}{2} = 1181 \text{ Па}.$$

где  $\Delta p_{нив}=0$  – теплообменный аппарат горизонтальный;

$\Delta p_{уск}=0$  – незначительное изменение плотности теплоносителя.

$$\Delta P_{мтр} = 276 + 2047 + 1452 + 1181 = 4956 \text{ Па}.$$

Подбор насоса:

Рассчитаем насос для подачи воды:

Плотность среды  $\rho := 945,2 \text{ кг/м}^3$

Объемный расход  $V := \frac{G}{\rho_1} = 2,11 \text{ м}^3 / \text{с}$

к.п.д. зададимся:  $\eta := 0,65$

$$N_{нас} := \frac{V \cdot \Delta P_{в.м.}}{1000 \cdot \eta} = 38,337 \text{ кВт}$$

Выберем насос [17, стр. 38]

Выбираем насос Х90/85 по мощности ( $2,5 \cdot 10^2 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и высоте столба жидкости (56 м),  $n=48,3 \text{ с}^{-3}$ ,  $\eta_n=0,65$ , электродвигатель типа АО2-81-2,  $N=40 \text{ кВт}$ .

### 3.5 Расчет теплоизоляции

Расчет согласно ГОСТ 34233,7-2017 [8]

Средний коэффициент теплоотдачи поверхности теплообменного аппарата, находящегося в закрытых помещениях, при температуре поверхности аппарата до  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  находим по формуле:

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \cdot \Delta t,$$

где  $\Delta t$  – разность температур на поверхности аппарата и окружающего воздуха.

В данном случае после применения изоляции температура поверхности аппарата не должна превышать согласно санитарным нормам  $t_{норм} = 43 \text{ }^\circ\text{C}$  при температуре окружающей среды  $t_{oc} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , т.е.  $\Delta t = 43 - 20 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Тогда

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \cdot 23 = 11,35 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

В качестве теплоизоляционного материала используем минеральную вату, которая имеет коэффициент теплопроводности  $\lambda_{из} = 0,04 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ .

Площадь поверхности теплообменного аппарата без изоляции находим из уточненного расчета аппарата. С некоторым приближением она будет равна:

$$F_a = \frac{\pi}{2} \cdot D_a^2 + \pi \cdot D_a \cdot L = \frac{\pi}{2} \cdot 0,4^2 + \pi \cdot 0,4 \cdot 2,8 = 3,77 \text{ м}^2,$$

где  $D_a$  – диаметр аппарата;  $L$  – длина аппарата с учетом обечаек.

Температура наружной поверхности кожуха аппарата без изоляции определяется средней температурой греющей воды, которая циркулирует в межтрубном пространстве и равна  $t_{\text{кож}} \approx t_1 = 82,5^\circ \text{C}$ .

Требуемую толщину изоляции аппарата найдем из выражения для стационарного режима теплообмена

$$q_l = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{из}} \cdot (t_{\text{кож}} - t_{\text{норм}})}{\ln\left(\frac{D_a + 2 \cdot \delta_{\text{из}}}{D_a}\right)} = \pi \cdot (D_a + 2 \cdot \delta_{\text{из}}) \cdot \alpha \cdot (t_{\text{норм}} - t_{\text{о.с}});$$

$$\frac{1}{\ln\left(\frac{D_a + 2 \cdot \delta_{\text{из}}}{D_a}\right)} = \frac{\alpha \cdot (D_a + 2 \cdot \delta_{\text{из}})}{2 \cdot \lambda_{\text{из}}} \cdot \frac{t_{\text{норм}} - t_{\text{о.с}}}{t_{\text{кож}} - t_{\text{норм}}};$$

$$\frac{1}{\ln\left(\frac{0,4 + 2 \cdot \delta_{\text{из}}}{0,4}\right)} = \frac{11,35 \cdot (0,4 + 2 \cdot \delta_{\text{из}})}{2 \cdot 0,04} \cdot \frac{43 - 20}{82,5 - 43};$$

$$\frac{1}{\ln(1 + 5 \cdot \delta_{\text{из}})} = 82,61 \cdot (0,4 + 2 \cdot \delta_{\text{из}}),$$

откуда  $\delta_{\text{из}} = 0,006 \text{ м} = 6 \text{ мм}$ .

Полные тепловые потери аппарата в окружающую среду составят

$$Q_{\text{о.с}} = \alpha \cdot (t_{\text{норм}} - t_{\text{о.с}}) \cdot F_a = 11,35 \cdot (43 - 20) \cdot 3,77 = 984 \text{ Вт} \approx 1 \text{ кВт},$$

что составляет  $\dot{Q}_{\text{о.с}} / \dot{Q} \cdot 100\% = 1 / 254,44 \cdot 100\% = 0,4\%$ , что существенно меньше заданного коэффициента потерь (3%).

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2к41	Кондратова Татьяна Валерьевна

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Химической инженерии</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавр</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>18.03.01. Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии</b>

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

1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности внедрения теплообменника кожухотрубчатого для участка подготовки попутного нефтяного газа Казанского месторождения

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

1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.
2. Расчет технико-экономических показателей

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2к41	Кондратова Татьяна Валерьевна		

## **4. Экономика подготовки попутного нефтяного газа Казанского месторождения**

Продукт: **Попутный нефтяной газ**

Целевой рынок: предприятия нефтегазовой отрасли

### **4.1 SWOT-анализ**

Качественный подход к описанию рисков заключается в детальном и последовательном рассмотрении содержательных факторов, несущих неопределенность, и завершается формированием причин основных рисков и мер по их снижению. Одной из методик анализа сильных и слабых сторон предприятия, его внешних благоприятных возможностей и угроз является SWOT-анализ (таблица 4.1).

Анализируя таблицу SWOT-анализа можем сказать, что предприятие имеет достаточно сильных сторон и возможностей, чтобы уверенно функционировать в условиях современных реалий.

Основной слабой стороной является зависимость от иностранных сервисных компаний, которые предоставляют услуги по ремонту и модернизации оборудования.

При этом стоит говорить о необходимости постоянной модернизации технологий и оборудования.

Кроме того, важной задачей для месторождения является соблюдение экологического законодательства.

Таблица 4.1 – Swot-анализ Казанского месторождения

	Возможности	Угрозы
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наличие мест для строительства новых скважин</li> <li>2. Увеличение добычи нефти и попутного нефтяного газа</li> <li>3. Применение современных технологий</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Штрафы за нарушение экологического законодательства</li> <li>2. Устаревание технологий и оборудования</li> </ol>
<p>Сильные стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наличие системы использования ПНГ</li> <li>2. Наличие больших запасов нефти, конденсата и газа</li> <li>3. Высококвалифицированный персонал</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Строительство новых скважин</li> <li>2. Развитие системы использования ПНГ, в том числе за счет применения нового современного оборудования, такого, как теплообменник кожухотрубчатый</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Строгое следование всем правилам и экологическим нормам</li> <li>2. Проведение модернизации</li> </ol>
<p>Слабые стороны</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Слабо развита инфраструктура</li> <li>2. Сложность геологического строения</li> <li>3. Зависимость от иностранных поставщиков услуг ремонтного обслуживания</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Развитие инфраструктуры</li> <li>2. Применение современных технологий при бурении</li> <li>3. Переход на услуги отечественных сервисных компаний</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Строгое следование всем правилам и экологическим нормам</li> </ol>

## 4.2 Расчет производственной мощности теплообменника

Расчет произведен по методическим указаниям [22].

Под производственной мощностью химического предприятия (производства, цеха) понимается максимально возможный годовой выпуск готовой продукции в номенклатуре и ассортименте, предусмотренных на плановый период при наилучшем использовании производственного оборудования, площадей в результате внедрения инноваций или проведения организационно-технических мероприятий. Основное оборудование – кожухотрубчатый теплообменник.

Расчет производственной мощности для непрерывного производства производится по формуле:

$$M = P_{\text{техн}} \cdot T_{\text{эфф.г}} \cdot n \quad \text{где} \quad (4.1)$$

$M$  – производственная мощность,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$P_{\text{техн}}$  – техническая норма производительности,  $\text{м}^3/\text{ч}$

$$P_{\text{техн}} = 1,8 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Для газа с плотностью  $\rho_2 = 19,51 \text{ кг} / \text{м}^3$ , получаем:

$$P_{\text{техн}} = \frac{1,8 \frac{\text{кг}}{\text{с}}}{19,51 \text{ кг} / \text{м}^3} \cdot 3600 = 332,1 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$n$  – количество единиц оборудования, *шт*

$$n = 1.$$

В общем виде величина эффективного времени выразится следующим образом:

$$T_{\text{эфф.г}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{ППР}} \quad (4.2)$$

где

$T_{\text{кал}}$  – календарный фонд работы оборудования, *ч*

$$T_{\text{кал}} = 8760;$$

$T_{\text{ППР}}$  – время на ремонтные простои, *ч*;

По формуле 3.2 находим эффективное время работы оборудования в год, принимая во внимание, что  $T_{\text{ППР}} = 1860$ :

$$T_{\text{эфф.г}} = 8760 - 1860 = 6900$$

$$M = 332,1 \cdot 6900 \cdot 1 = 2,3 (\text{млн. м}^3 / \text{год}).$$

Коэффициент экстенсивности характеризуется использованием основного оборудования по времени :

$$K_{\text{экт}} = T_{\text{эфф.г}} / T_{\text{кал}} \quad (4.3)$$

где

$K_{\text{экт}}$  – коэффициент экстенсивности;

$T_{\text{эфф.г}}$  – эффективное время работы оборудования, *ч*.;

$T_{\text{кал}}$  – календарный фонд времени работы оборудования, *ч*.

По формуле 3.3 коэффициент экстенсивности равен:

$$K_{\text{экт}} = 6900 / 8760 = 0,79.$$

Коэффициент интенсивности характеризует использование оборудование по производительности [16].

$$K_{\text{инт}} = P_{\text{факт}} / P_{\text{техн}} \quad (4.4)$$

где

$P_{\text{факт}}$  – фактическая производительность,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$P_{\text{техн}}$  – техническая норма производительности,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$$K_{\text{инт}} = 332,1 / 332,1 = 1$$

Коэффициент Парка рассчитываем по формуле:

$$K_{\text{Парка}} = N_{\text{раб}} / N_{\text{уст}}, \quad (4.5)$$

где

$N_{\text{раб}}$  – количество работающего оборудования, шт.;

$N_{\text{уст}}$  – количество установленного оборудования, шт.

$K_{\text{Парка}} = 1/1 = 1$

Коэффициент мощности:

$$K_M = K_{\text{инт}} \cdot K_{\text{Парка}} \cdot K_{\text{экт}}, \quad (4.6)$$

где

$K_{\text{экт}}$  – коэффициент экстенсивности;

$K_{\text{инт}}$  – коэффициент интенсивности;

$K_{\text{Парка}}$  – коэффициент парка.

$$K_M = 0,79 \cdot 1 \cdot 1 = 0,79$$

Годовая программа выпуска до и после производительности

$$N_{\text{год}} = K_M \cdot M, \quad (4.7)$$

где

$K_M$  – коэффициент мощности;

$M$  – производственная мощность, млн. м<sup>3</sup>/год.

$$N_{\text{год}} = 2,3 \cdot 0,79 = 1,8 (\text{млн. м}^3/\text{год}).$$

### 4.3 Режим работы

Теплообменник и сопутствующее оборудование, образующие общую систему подготовки попутного нефтяного газа, работает непрерывно, поэтому бригада формируется по принципу сменности. Согласно заводским данным график сменности является четырехбригадная. График сменности представляет собой изображение очередности выхода работающих на работы, А, Б, В, Г – условное обозначение бригад. Основные рабочие на производстве работают в двухсменном режиме, первая смена работает с 8.00ч. до 20.00 ч., а вторая смена работает с 20.00ч. до 8.00 ч. Основные рабочие работают вахтовым методом. Первая вахта работает с 3 числа по 18 число текущего месяца, а вторая группа вахтовиков работает с 19 числа по 2 число следующего месяца.

График двухсменного четырехбригадного режима работы на май 2018 года приведен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – График режима работы смен на май 2018 г.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>А</b>			7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>Б</b>			7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>В</b>	12	12	12	7											
<b>Г</b>	12	12	12	7											
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<b>А</b>	12	12	12	7											
<b>Б</b>	12	12	12	7											
<b>В</b>			7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>Г</b>			7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Таблица 4.3 – Штатное расписание участка подготовки попутного нефтяного газа

Наименование должности, профессии	Категория	Разряд	Кол. штат. ед.	Ставка	МФЗП
1	2	3	4	5	6
1. Начальник участка	ИТР	14	1	2025	5148
2. Инженер технолог 1 категории	ИТР	11	2	1731	9001
3. Инженер – механик 1 категории	ИТР	11	2	1731	9001
4. Оператор технологических установок	ОР	5	10	9.8	56349
Итого по участку подготовки газа			15		79499

Для расчета эффективного фонда рабочего времени составим баланс времени одного среднесписочного рабочего.

Эффективное количество часов работы одного среднесписочного рабочего определяется:

$$T_{\text{эфф.раб}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пл.пот}}, \quad (4.8)$$

где

$T_{\text{кал}}$  – календарный фонд времени работы одного среднесписочного рабочего, человек;  $T_{\text{кал}} = 8760 \text{ч.}$ ;

$T_{\text{пл.пот}}$  – время плановых потерь, ч.;

$T_{\text{вых}}$  – число нерабочих часов в выходные дни, ч.

На производстве организованы две вахты по 2 смены каждая. Каждая смена работает 12 часов с компенсацией за работу в выходные дни. Это достигается применением четырех бригадного графика сменности.

Длительность сменоборота :

$$T_{\text{см.об}} = a \cdot b, \quad (4.9)$$

где

$T_{\text{см.об}}$  – длительность сменоборота, дней;

$a$  – количество бригад, шт;

$b$  – число дней, в течение которых бригада работает в одну смену, дн.;

Количество выходных дней, в течение которых бригада работает в одну смену :

$$T_{\text{вых}} = T_{\text{кал}} / T_{\text{см.об}} \cdot n, \quad (4.10)$$

где

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней;

$T_{\text{кал}}$  – календарный фонд времени работы одного среднесписочного рабочего, дней;

$T_{\text{см.об}}$  – длительность сменоборота, дней;

$n$  – количество выходных дней за сменоборот, дней.

Одна смена работает 15 дней: один день залетают, один день вылета.

$$T_{\text{вых}} = 365 / 8 \cdot 3 = 137 \text{ (дней)}$$

Продолжительность рабочих смен в сменобороте находим по следующей формуле:

$$T_{\text{раб.см}} = t_{\text{см}} - t_{\text{вых}}, \quad (4.11)$$

где

$t_{\text{см}}$  – продолжительность рабочих смен всменобороте, дней;

$t_{\text{вых}}$  – количество выходных дней, дней.

$$T_{\text{раб.см}} = 8 - 3 = 5$$

Находим номинальный фонд рабочего времени.

$$T_{\text{раб}} = T_{\text{кал}} \cdot T_{\text{раб.см}} / t_{\text{см}}, \quad (4.12)$$

$$T_{\text{раб}} = 365 \cdot 5 / 8 = 228 \text{ (дней)}$$

Находим количество персонала (производственного) работающего посменно:

$$N_{\text{яв}} = N_{\text{шт}} \cdot S, \quad (4.13)$$

где

$N_{яв}$  – явочная численность производственного персонала, работающего посменно, человек;

$N_{шт}$  – штатное количество человек, работающих в смену, человек;

$S$  – число смен,

$S = 4$ .

$N_{яв} = 15 \cdot 4 = 60$  (человек)

Списочная численность:

$N_{сп} = N_{яв} \cdot K_{пер}$ , (4.14)

где

$K_{пер}$  – коэффициент перехода от явочной численности к списочной.

$K_{пер} = T_{эфф.об.} / T_{эфф.раб}$  (4.15)

где

$T_{эфф.об.} = 6900$  (см. таблицу 4.4).

Таблица 4.4 - Баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего

№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени, $T_{кал}$	365	8760
2	Выходные дни, $T_{вых}$	137	3288
3	Номинальный фонд рабочего времени, $T_{раб}$	228	5472
4	Очередные и дополнительные отпуска	36	864
5	Невыходы по болезни	7	168
6	Выполнение государственных обязанностей	1	24
7	Отпуск по учебе без отрыва от производства	1	24
8	Итого по отпуску	45	1080
9	Эффективный фонд рабочего времени	183	4392

$T_{эфф.раб.}$  – эффективный фонд рабочего времени одного среднесписочного рабочего, ч.;

$T_{эфф.раб.} = 4392$  (см. таблицу 4.4).

$K_{пер} = 6900/4392 = 1,57$ .

По формуле 9.1.14 списочная численность равна:

$N_{сп} = 60 \cdot 1,57 = 95$  (человек).

#### 4.4 Организация оплаты труда

В нефтегазодобывающем управлении оплата труда рабочих повременнo–премиальная, на основе часовых тарифных ставок, установленных и утвержденных на предприятии, присвоенных квалификационных разрядов (семнадцатиразрядная сетка) и фактически отработанного времени.

Труд руководителей, специалистов и служащих оплачивается согласно установленной разрядной таблицы за фактически отработанное время.

Рабочим руководителям и специалистам работа в ночное время оплачивается в повышенном размере на 40% и в вечернее время на 20%. Компенсационная доплата выплачивается в размере 10% за тяжелые условия труда.

На месторождении выплачивается надбавка в размере 75% взамен суточных.

Работа в праздничные дни оплачивается работникам, труд которых оплачивается по часовым тарифным ставкам – в размере двойной часовой тарифной ставки.

Тарифный фонд заработной платы рассчитывается на основе тарифной сетки.

Проведем расчет месячной заработной платы операторов технологических установок 4 разряда участка подготовки газа (10 человек).

Заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{ноч}} + D_{\text{празд}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{р.к.}} + D_{\text{сут}} + D_{\text{усл.тр}} \quad (4.16)$$

где

$Z_{\text{тар}}$  – тарифная ЗП, руб.;

$D_{\text{ноч}}$  – доплата за работу в ночное время, руб.;

$D_{\text{празд}}$  – доплата за работу в праздничные дни, руб.;

$D_{\text{прем}}$  – премиальная ЗП, руб.;

$D_{\text{р.к.}}$  – районный коэффициент, руб.;

$D_{\text{сут}}$  – доплата взамен суточных, руб.;

$D_{\text{усл.тр}}$  – компенсационная доплата за условия труда, руб.;

Тарифная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{фак}} \cdot N, \quad (4.17)$$

где

$T_{\text{ст}}$  – тарифная ставка данной категории рабочих, руб./ч;

$T_{\text{ст}} = 7,24$  руб.

$T_{\text{фак}} = 194$  ч. за смену;

$N$  – количество рабочих данной категории, человек;

$N = 10$  чел.

$Z_{\text{тар}} = 7,24 \cdot 194 \cdot 10 = 14045,6$  (руб.)

Доплата за работу в ночное время:

$$D_{\text{ноч}} = 0,4 \cdot T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{ноч}} \cdot N, \quad (4.18)$$

где

$T_{\text{ст}}$  – почасовая тарифная ставка, руб.;

$D_{\text{ноч}} = 0,4 \cdot 14045,6 = 5618,24$  (руб.)

Доплата в праздничные дни:

$$D_{\text{празд}} = T_{\text{празд}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot 2 \cdot N; \quad (4.19)$$

где

$T_{\text{празд}}$  – количество часов, отработанное в праздники, ч (1 и 9 мая –  $T_{\text{празд}} = 24$  часа);

$D_{\text{празд}} = 24 \cdot 7,24 \cdot 2 \cdot 10 = 3475,2$  (руб.)

Премиальная ЗП:

$$D_{\text{прем}} = Z_{\text{тар}} \cdot P_{\text{рем}} / 100 \% \quad (4.20)$$

где

$Z_{\text{тар}}$  – тарифная ЗП, руб.;

$P_{\text{рем}}$  – премиальные, % за май 2017 года = 20%

$D_{\text{прем}} = 14045,6 \cdot 20/100 = 2809,12$  (руб.).

Районный коэффициент:

$$D_{\text{р.к.}} = 0,5 (Z_{\text{тар}} + D_{\text{ноч}} + D_{\text{празд}} + D_{\text{прем}}) \quad (4.21)$$

$D_{\text{р.к.}} = 0,5 (14045,6 + 5618,24 + 3475,2 + 2809,12) = 12974,58$  (руб.).

Доплата взамен суточных:

$$D_{\text{сут}} = Z_{\text{тар}} \cdot 75/100, \quad (4.22)$$

$D_{\text{сут}} = 0,75 \cdot 14045,6 = 10534,2$  (руб.)

Компенсационная доплата за тяжелые условия труда:

$D_{\text{усл.тр}} = Z_{\text{тар}} \cdot 10/100,$

$D_{\text{усл.тр}} = 14045,6 \cdot 0,1 = 1404,56$  (руб)

Итак по формуле (3.16) основная заработная плата 10 операторов технологических установок узла подготовки газа за май месяц 2017г. составит:

$$Z_{\text{осн}} = 14045,6 + 5618,24 + 3475,2 + 2809,12 + 12974,58 + 10534,2 + 1404,56 = 50861,50 \quad (руб)$$

$$ЗП = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.23)$$

где

$Z_{\text{осн}}$  – основная ЗП, руб.;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная ЗП, руб.;

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K / T_{\text{кал}}, \quad (4.24)$$

где

$K$  – число законных невыходов, дней;

$T_{\text{кал}}$  – календарный фонд работы одного среднесписочного рабочего, дней;

$$Z_{\text{доп}} = 50861,5 \cdot 45 / 365 = 6270,6 \text{ (руб.)}$$

Заработная плата 10 операторов технологических установок за 1 месяц составит:

$$ЗП = 6270,6 + 50861,5 = 57132,1 \text{ (руб.)}$$

Аналогично производится расчет месячного фонда ЗП всех работников производства. Месячный и годовой фонд ЗП представлен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Фонд заработной платы

№	Наименование	Численность	МФЗП, тыс. руб.	ГФЗП, тыс. руб.
1	Инженерно-технические работники (ИТР)	58	265,1	3181,3
2	Основные рабочие (ОР)	41	232,1	2784,7
3	Вспомогательные рабочие (ВСР)	78	427,6	5130,6
4	Младший обслуживающий персонал (МОП)	14	49,7	596,6
5	Итого по ГКС	191	974,4	11693,3

#### 4.5 Основные фонды предприятия. Расчет амортизационных отчислений

В качестве сырья используется газ, поступающий из бустерной компрессорной станции и дренажно-насосной станции.

В таблице 4.6 приведена структура основных фондов участка подготовки газа.

Таблица 4.6 – Структура основных производственных фондов

№	Наименование ОПФ	Стоимость ОПФ, тыс.руб.	% к общей стоимости ОПФ, %	На, %	Амортизационные отчисления, тыс. руб.	Текущий ремонт, %	Капитальный ремонт, %
	1	2	3	4	5	6	7
1	Здания	17990,7	80,73	4	719,6	3,2	6,3
2	Сооружения	900,8	4,04	4	36,0	3,2	6,3
3	Инструменты и инвентарь	1275,7	5,72	14	178,6	6,3	8,2
Итого здания, сооружения и инвентарь		20167,2	90,50		934,3		
4	Производственное оборудование	2118,1	9,50	12	254,2	6,3	8,2
Итого:		22285,3	100,00		<b>1188,4</b>		

Рассмотрим принцип расчета амортизационных отчислений на май месяц 2018 года на примере производственного оборудования:

$$Ar = N_a \cdot \Phi_{\text{восст}}/100, \quad (3.26)$$

где

$N_a$  – норма амортизационных отчислений, %.

Для производственного оборудования годовая  $N_a = 12$  %;

$\Phi_{\text{восст}}$  – полная восстановительная стоимость производственного оборудования, руб.

$\Phi_{\text{восст}} = 2118109$ руб.

$Ar = 12 \cdot 2118109/100 = 254173,08$  (руб.).

Сумма месячных амортизационных отчислений производственного оборудования составляет:

$$Ar_M = Ar/12, \quad (4.27)$$

$Ar_M = 254173,08/12 = 21181$  (руб.).

Аналогично рассчитывается сумма месячных амортизационных отчислений для любых видов основных средств с учетом их норм амортизации и полной восстановительной стоимости.

## 4.6 Расчет себестоимости

Расчет себестоимости товарного газа при годовом производственном выпуске  $M_{\text{пр}} = 1,8$  млн. м<sup>3</sup> приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Себестоимость продукции газа при годовом выпуске 1.8 млн.м<sup>3</sup>

№	Статьи затрат	Единица измерения	Цена, руб	Расход		Затраты, руб.	
				Норма расхода, на млн. м <sup>3</sup>	на Nгод (4 x M <sub>пр</sub> )	на 1 млн. м <sup>3</sup> (столбец 3 x 4)	на Nгод (столбец 3 x 5)
	1	2	3	4	5	6	7
1	<b>Сырьё, материалы и катализаторы</b>						
1.1	Алюминосиликат	тн	1050	0,27	0,486	283,5	510,3
1.2	Метанол	тн	600	0,97	1,746	582	1047,6
1.3	Термолаин	тн	836	1,57	2,826	1312	2362,5
1.4	Ингибитор ИКБ – 2–2	тн	165	5,5	9,9	907,5	1633,5
1.5	Минеральное масло	тн	892,5	0,2	0,36	178,5	321,3
	<b>Итого сырья, материалов</b>					<b>3263,5</b>	<b>5875,2</b>
2	<b>Энергоресурсы</b>						
2.1	Электроэнергия	ткВтчас	234	29,5	53,1	6903,0	12425,4
2.2	Пар собственный	гКал	83,96	300,0	540	25188,0	45338,4
2.3	Азот	Т·м <sup>3</sup>	228,73	4,8	8,64	1097,9	1976,23
2.4	Газ природный	Т·м <sup>3</sup>	311,73	25,1	45,18	7824,4	14084
2.5	Дем. вода	Тм <sup>3</sup>	6182	0,95	1,71	5872,9	10571,2
2.6	Сжатый воздух	Тм <sup>3</sup>	73,71	9,0	16,2	663,4	1194,1
	<b>Итого энергоресурсов</b>					<b>47549,6</b>	<b>85589,3</b>
	<b>ИТОГО условно-переменных издержек</b>					<b>50813,1</b>	<b>91464,6</b>
3	<b>Зарплата</b>						
3.1	Зарплата основных рабочих	Тыс. руб.				1547,1	2784,7

3.2	Отчисления на страховые взносы основных рабочих	%	30			464,1	835,4
<b>Итого зарплата основных рабочих с отчислениями</b>						<b>2011,2</b>	<b>3620,1</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
4	Общепроизводственные расходы						
4.1	Зарплата вспомогательных рабочих	Тыс. руб.				2850,3	5130,6
4.1.1	Отчисления на страховые взносы вспомогательных рабочих	%	30			855,1	1539,2
4.2	Зарплата ИТР	Тыс. руб.				1767,4	3181,3
4.2.1	Отчисления на страховые взносы ИТР	%	30			530,2	954,4
4.3	ЗП младшего обслуживающего персонала (МОП)	руб.				331,4	596,6
4.3.1	Отчисления на страховые взносы МОП	%	30			99,4	179,0
4.4	Амортизация зданий, сооружений и инвентаря	Тыс. руб.				519,1	934,3
4.4.1	Текущий ремонт зданий, сооружений и инвентаря	Тыс. руб.				380,5	684,9
4.4.2	Капитальный ремонт зданий, сооружений и инвентаря	Тыс. руб.				719,3	1294,8
4.5	Амортизационные отчисления от производственного оборудования	Тыс. руб.				141,2	254,2
4.5.1	Текущий ремонт оборудования	Тыс. руб.				74,1	133,4
4.5.2	Капитальный ремонт оборудования	Тыс. руб.				96,5	173,7

## Окончание таблицы 4.7

	1	2	3	4	5	6	7
<b>Итого общепроизводственные расходы</b>		<b>Тыс. руб.</b>				<b>8364,5</b>	<b>15056,4</b>
5 Прочие расходы		руб.				1804	3247,2
<b>Итого прочие расходы</b>		<b>руб.</b>				<b>1804</b>	<b>3247,2</b>
6 <b>I. Цеховая себестоимость</b>		<b>руб.</b>				<b>95905</b>	<b>172629</b>
7 Общехозяйственные расходы (24 % от цеховой себестоимости)		руб.				23017	41430,6
8 <b>II. Заводская</b>		<b>руб.</b>				<b>118922</b>	<b>214059,6</b>
9 Коммерческие расходы (7 % от заводской себестоимости)		руб.				8324	14983,2
<b>ИТОГО</b>						<b>31341</b>	<b>5614,8</b>
10 <b>III. Полная себестоимость</b>		<b>руб.</b>				<b>115940,1</b>	<b>208692,2</b>
Условно переменные затраты		руб.				50813,1	91463,58
Условно постоянные затраты		руб.				65127	117228,6

Полная себестоимость продукции:

- годового выпуска – 208692,2 руб.
- в расчете на 1 млн. м<sup>3</sup> - 115940,1 руб.
- в расчете на 1 м<sup>3</sup> – 0,11 руб.

С помощью затратного метода найдем цену продукции за 1 м<sup>3</sup>, а затем подсчитаем выручку:

$Ц = С \cdot ( 1 + R / 100 )$ , где

С – себестоимость полная, руб.;

R – рентабельность, 12 %.

$$Ц = (208692,2 / 1,8 \cdot 10^6) \cdot 1,12 = 0,13 \text{ (руб.)}/\text{м}^3.$$

Рассчитаем себестоимость продукции при наращивании объемов производства на 15 %.

Расчет себестоимости товарного газа при годовом производственном выпуске  $M_{\text{пр}} = 1,8 \text{ млн. м}^3 + (1,8 \text{ млн. м}^3 \cdot 15 \% / 100\%) = 2,07 \text{ млн. м}^3$  приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Себестоимость продукции товарного газа при годовом выпуске 2,07 млн. м<sup>3</sup>/год

№	Статьи затрат	Единица измерения	Цена, руб.	Расход		Затраты, руб.	
				Норма расхода, на млн. м <sup>3</sup>	на Нгод (4 х М <sub>пр</sub> )	на 1 млн. м <sup>3</sup> (столбец 3 х 4)	на Нгод (столбец 3 х 5)
	1	2	3	4	5	6	7
1	<b>Сырьё, материалы и катализаторы</b>						
1.1	Алюминосиликат	тн	1050	0,27	0,5589	283,5	586,85
1.2	Метанол	тн	600	0,97	2,0079	582	1204,74
1.3	Термолаин	тн	836	1,57	3,2499	1312	2716,92
1.4	Ингибитор ИКБ – 2–2	тн	165	5,5	11,385	907,5	1878,53
1.5	Минеральное масло	тн	892,5	0,2	0,414	178,5	369,50
	<b>Итого сырья, материалов</b>					<b>3263,5</b>	<b>6756,52</b>
2	<b>Энергоресурсы</b>						
2.1	Электроэнергия	ткВтчас	234	29,5	61,065	6903,0	14289,2
2.2	Пар собственный	гКал	83,96	300,0	621	25188,0	52139,2
2.3	Азот	Т·м <sup>3</sup>	228,73	4,8	9,936	1097,9	2272,7
2.4	Газ природный	Т·м <sup>3</sup>	311,73	25,1	51,957	7824,4	16196,6
2.5	Дем. вода	Тм <sup>3</sup>	6182	0,95	1,9665	5872,9	12156,9
2.6	Сжатый воздух	Тм <sup>3</sup>	73,71	9,0	18,63	663,4	1373,2
	<b>Итого энергоресурсов</b>					<b>47549,6</b>	<b>98427,71</b>
	<b>ИТОГО условно-переменных издержек</b>					<b>50813,1</b>	<b>105184,23</b>
3	<b>Зарплата</b>						
3.1	Зарплата основных рабочих	Тыс. руб.				2614,53	5412,08
3.2	Отчисления на страховые взносы основных рабочих	%	30			784,27	1623,44
	<b>Итого зарплата основных рабочих с отчислениями</b>					<b>3398,80</b>	<b>7035,52</b>

Продолжение таблицы 4.8

	1	2	3	4	5	6	7
4	Общепроизводственные расходы						
4.1	Зарплата вспомогательных рабочих	Тыс. руб.				4816,9	9970,98
4.1.1	Отчисления на страховые взносы вспомогательных рабочих	%	30			1445,1	2991,36
4.2	Зарплата ИТР	Тыс. руб.				2985,8	6180,61
4.2.1	Отчисления на страховые взносы ИТР	%	30			895,6	1853,89
4.3	ЗП младшего обслуживающего персонала (МОП)	Тыс. руб.				559,9	1158,99
4.3.1	Отчисления на страховые взносы МОП	%	30			145,2	300,56
4.4	Амортизация зданий, сооружений и инвентаря	Тыс. руб.				3659,7	7575,58
4.4.1	Текущий ремонт зданий, сооружений и инвентаря	Тыс. руб.				2692,8	5574,10
4.4.2	Капитальный ремонт зданий, сооружений и инвентаря	Тыс. руб.				5100,4	10557,83
4.5	Амортизационные отчисления от производственного оборудования	Тыс. руб.				954,7	1976,23
4.5.1	Текущий ремонт оборудования	Тыс. руб.				500,8	1036,66
4.5.2	Капитальный ремонт оборудования	Тыс. руб.				652,1	1349,85
	<b>Итого общепроизводственные расходы</b>	<b>Тыс. руб.</b>				<b>24409,01</b>	<b>50526,65</b>
5	Прочие расходы	руб.				1568,9	3247,62
	<b>Итого прочие расходы</b>	<b>руб.</b>				<b>1568,9</b>	<b>3247,62</b>
6	<b>I. Цеховая себестоимость</b>	<b>руб.</b>				<b>83387,82</b>	<b>172612,79</b>
7	Общехозяйственные расходы (24 % от цеховой себестоимости)	руб.				20012,9	41426,70
8	<b>II. Заводская</b>	<b>руб.</b>				<b>103400,72</b>	<b>214039,49</b>
9	Коммерческие расходы (7 % от заводской себестоимости)	руб.				7237,58	14981,79
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
	<b>ИТОГО</b>					<b>27250,48</b>	<b>56408,49</b>
10	<b>III. Полная себестоимость</b>					<b>108181,69</b>	<b>223936,09</b>
	Условно переменные затраты					50813,1	105183,1
	Условно постоянные затраты					56626,85	117228,6

Полная себестоимость продукции:

- годового выпуска – 223936,09руб.
- в расчете на 1 млн. м<sup>3</sup> – 108181,69 руб.
- в расчете на 1 м<sup>3</sup> – 0,1руб.

С помощью затратного метода найдем цену продукции за  $1\text{ м}^3$ , а затем подсчитаем выручку  
 $\text{Ц} = \text{С} \cdot (1 + \text{R} / 100)$ , где  
С – себестоимость полная, руб.;  
R – рентабельность, 12 %.  
 $\text{Ц} = (208111,5 / 2,07 \cdot 10^6) \cdot (1 + 12 / 100) = 0,12 \text{ (руб.)} / \text{м}^3$ .

#### 4.7 Техничко-экономические показатели

Таблица 4.9 – Техничко-экономические показатели эффективности производства товарного газа

№ п/п	Наименование показателя	Единицы измерения	Значение показателей ( $1,8 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ )	Значение показателей ( $2,07 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ )
1	2	3	4	5
1	Объем производства	$\text{м}^3/\text{год}$	$1,8 \cdot 10^6$	$2,07 \cdot 10^6$
2	Объем продаж	$\text{м}^3/\text{год}$	$1,8 \cdot 10^6$	$2,07 \cdot 10^6$
3	Цена $1 \text{ м}^3$	руб.	0,13	0,13
4	Выручка от реализации (строка 2 х строка 3)	руб.	234000	273000
5	Себестоимость (Суммарные издержки (строка 5.1 + строка 5.2))	руб.	<b>208692,2</b>	<b>223936,1</b>
	в том числе			
5.1	Издержки переменные	руб.	91463,58	105183,1
5.2	Издержки постоянные	руб.	117228,6	117228,6
6	Операционная прибыль (строка 4 – строка 5)	руб.	25307,8	46699,3
7	Налог на прибыль 20 % (строка 6 · 0,20)	руб.	5061,56	9339,86
8	Чистая прибыль (строка 6 – строка 7)	руб.	20246,24	37359,44
9	Рентабельность производства ((строка 8/строка 5) · 100)	%	9,7	16,8
10	Рентабельность продаж ((строка 8/строка 4) · 100)	%	8,7	13,9
11	Стоимость основных фондов	руб.	22285300	22285300
12	Фондовооружённость	руб./чел.	116677	116677
13	Фондоёмкость (строка 11 / строка 4)	руб./руб.	95,2	82,8
14	Фондоотдача (строка 4 / строка 11)	руб./руб.	0,011	0,012
15	Себестоимость $1 \text{ м}^3$	руб.	0,13	0,12
16	Производительность труда	$\text{м}^3/\text{чел.}$	9424	10837
17	Инвестиции предприятия для внедрения инновации	руб.	45000	
18	Срок окупаемости	лет		2,5
19	Точка безубыточности	млн. $\text{м}^3$	1,48	1,77
20	Точка безубыточности	руб.	192453	192453

## 4.8 Расчет точки безубыточности

Расчет точки безубыточности производится на основании сопоставления выпуска продукции, ее себестоимости, постоянных затратах, оптовой цены.

Расчет точки безубыточности графическим методом для объема выпуска 1,8 млн. м<sup>3</sup> представлен в таблице 4.10 и на рисунке 4.1

Таблица 4.10 – Расчет точки безубыточности для выпуска 1,8 млн. м<sup>3</sup>/год

Объем, млн. м <sup>3</sup>	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
Валовые (общие) затраты, руб.	117228,6	132472,5	147716,5	162960,4	178204,3	193448,3	208692,2
Чистая прибыль, руб.	-117229	-93472,5	-69716,5	-45960,4	-22204,3	1551,75	25307,82
Переменные затраты, руб.	0	15243,93	30487,86	45731,79	60975,72	76219,65	91463,58
Выручка (доход), руб.	0	39000	78000	117000	156000	195000	234000
Постоянные затраты, руб.	117228,6	117228,6	117228,6	117228,6	117228,6	117228,6	117228,6

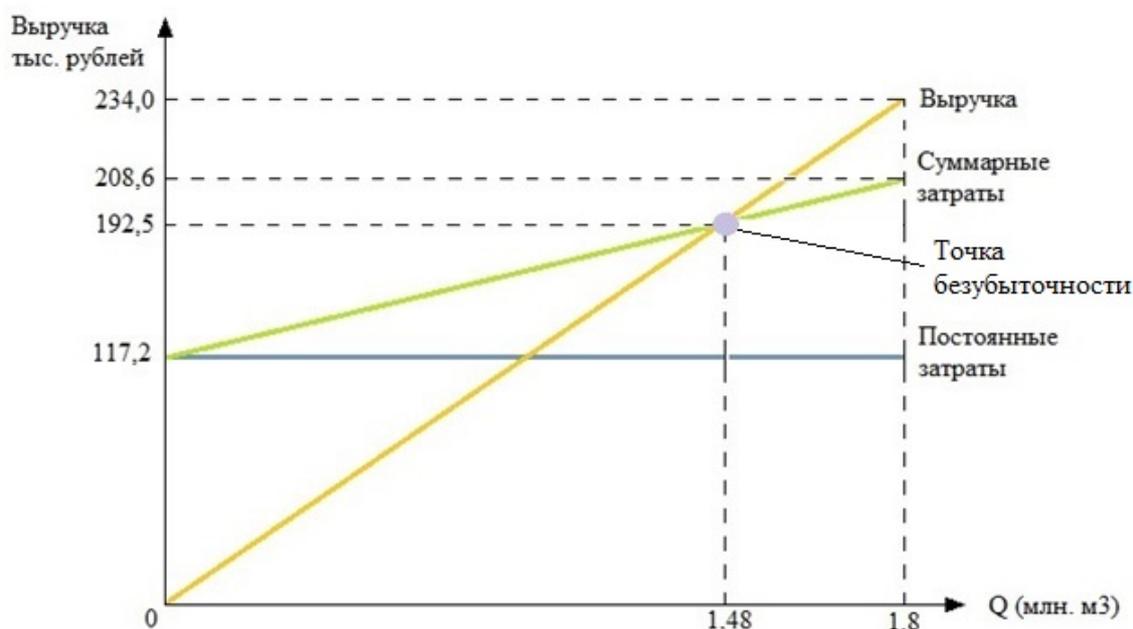


Рисунок 4.1 - График нахождения точки безубыточности при годовом выпуске 1,8 млн.м<sup>3</sup> товарного газа

Расчет точки безубыточности графическим методом для объема выпуска 2,07 млн. м<sup>3</sup> представлен в таблице 4.11 и на рисунке 4.2

Таблица 4.11 – Расчет точки безубыточности для выпуска 2,07 млн. м<sup>3</sup>/год

Объем, млн. м <sup>3</sup>	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1
Валовые (общие) затраты, руб.	117228,6	132472,5	147716,5	162960,4	178204,3	193448,3	208692,2	223936,1
Чистая прибыль, руб.	-117229	-93472,5	-69716,5	-45960,4	-22204,3	1551,75	25307,82	49063,89
Переменные затраты, руб.	0	15243,93	30487,86	45731,79	60975,72	76219,65	91463,58	106707,5
Выручка (доход), руб.	0	39000	78000	117000	156000	195000	234000	273000
Постоянные затраты, руб.	117228,6	117228,6	117228,6	117228,6	117228,6	117228,6	117228,6	117228,6

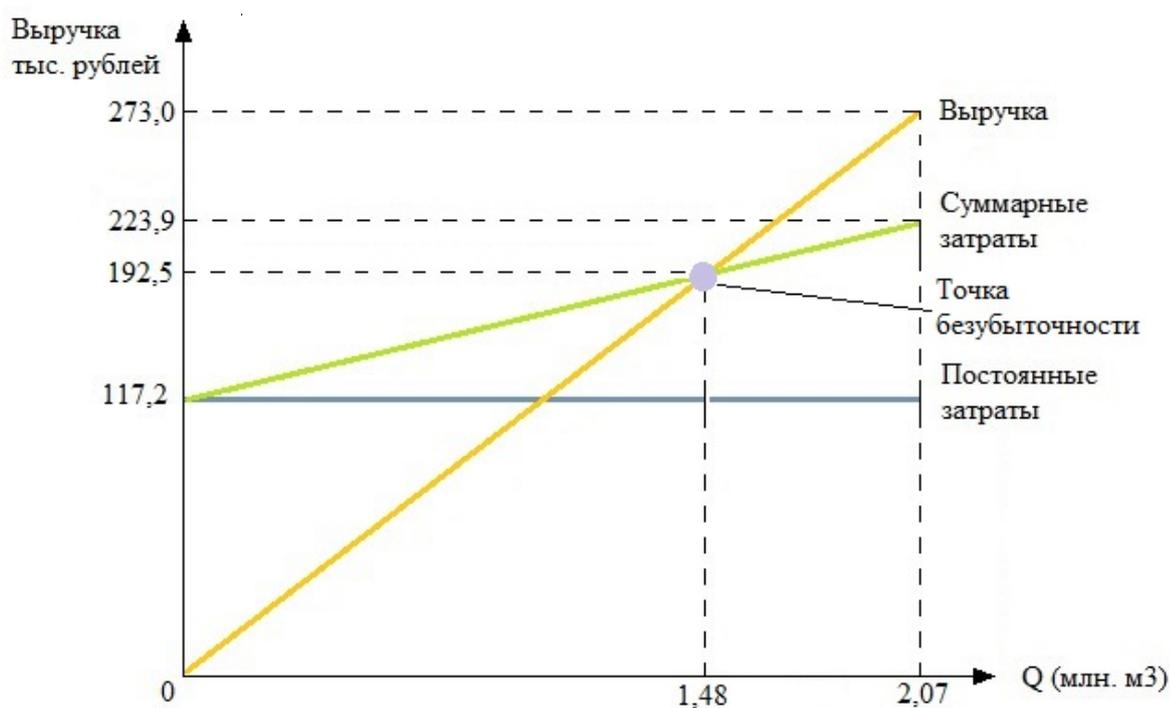


Рисунок 4.2 - График нахождения точки безубыточности при годовом выпуске 2,07млн. м<sup>3</sup>товарного газа

Определение точки безубыточности аналитическим способом:

$$Q_{кр.} = \frac{Изд._{пост}}{Ц_{ГП} - Изд._{перГП}},$$

где  $C_{ГП}$  – цена единицы готовой продукции (1 м<sup>3</sup>);

$Изд_{ГП}$  - удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 м<sup>3</sup>).

Для производства газа 1,8 млн. м<sup>3</sup>  
 $Q_{кр,1} = 117228,6 / (0,13 * 10^6 - 50813,1) = 1,48$  млн. м<sup>3</sup>  
 $Q_{кр,1} = 117228,6 / ((0,13 * 10^6 - 50813,1) / 0,13 * 10^6) = 192453$  руб.  
 Для производства газа 2,07 млн. м<sup>3</sup>  
 $Q_{кр,2} = 117228,6 / (0,13 * 10^6 - 50813,1) = 1,48$  млн. м<sup>3</sup>  
 $Q_{кр,2} = 117228,6 / ((0,13 * 10^6 - 50813,1) / 0,13 * 10^6) = 192453$  руб

#### 4.9 Расчет срока окупаемости инвестиций

Рассчитаем срок окупаемости инвестиций. Цена теплообменника кожухотрубчатого составляет 131 800 рублей, с учетом доставки до города Томска стоимость составит 146 820 рублей, а с учетом доставки на грузовом автомобиле окончательная стоимость (первоначальные инвестиции) составит 223 620 рублей.

Расчет срока окупаемости инвестиций для производства газа 1,8 млн. м<sup>3</sup>

$$PP = \frac{I_0}{ЧДП},$$

$$PP = 223\ 620 / 234\ 000 = 0,96 \text{ года}$$

Вышепроизведенные расчеты показывают, что при увеличении объема производства с 1,8 млн.м<sup>3</sup> до 2,07 млн.м<sup>3</sup>, чистая прибыль увеличивается на 84%. При этом отметим, что фондоемкость уменьшается на 12,4 руб./руб. за счет увеличения выручки. В то время как фондоотдача увеличилась на 0,001.

Это в свою очередь свидетельствует об эффективности использования основных фондов на участке подготовки газа на Казанском месторождении за счет модернизации производства. Также отметим, что за счет повышения технического уровня производства увеличивается производительность труда на 1413 м<sup>3</sup> на человека. Срок окупаемости оборудования, обеспечивающего улучшение значений вышерассмотренных технико-экономических показателей, составляет 0,96 года. Расчет точки безубыточности показал, что объем производства, при котором расходы будут компенсированы доходами, а при производстве и реализации каждой последующей единицы продукции предприятие начинает получать прибыль, которая составляет 1,77 млн.м<sup>3</sup>.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К41	Кондратовой Татьяне Валерьевне

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Химической инженерии</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавр</b>	<b>Направление/специальность</b>	18.03.01. Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Теплообменник кожухотрубчатый является наиболее распространенным видом аппарата в промышленности, для участка подготовки попутного нефтяного газа Казанского месторождения. Предназначен этот аппарат для теплообменных процессов (нагревание, охлаждение, испарение, конденсация).</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>- правовые нормы трудового законодательства, регулирующие соблюдение безопасности при работе в производственных помещениях (законы, организации и т.д.)</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия факторов.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.</li> <li>2. Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу.</li> <li>3. Пожаро-опасность, взрывоопасность.</li> <li>4. Повышенный уровень статического электричества.</li> <li>5. Движущиеся машины и механизмы</li> <li>6. Повышенный уровень шума.</li> <li>7. Повышенный уровень вибрации.</li> </ol>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>На окружающую среду воздействуют вредные вещества: Углекислый газ. Химическое загрязнение водотоков в результате отмывания химических отходов в канализационную сеть. Необходимо осуществлять отдельный сбор и хранение отходов, подвергать их переработке, утилизации или захоронению.</p>

<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: пожар, взрыв, разрушение зданий в результате разрядов атмосферного электричества, ураган, землетрясение. Наиболее актуальная ЧС – возникновение пожара. Для его ликвидации необходимо использовать огнетушитель, песок, азотное пожаротушение.
--------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К41	Кондратова Татьяна Валерьевна		

## 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### ВВЕДЕНИЕ

Под социальной ответственностью в данном разделе понимается комплекс мер по обеспечению безопасности жизни и здоровья работников в процессе выполнения настоящего исследования, а также ответственность перед обществом по обеспечению экологической безопасности. Для этого в настоящем разделе будут рассмотрены такие вопросы, как экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности является одним из национальных приоритетов в целях сохранения человеческого капитала.

Обеспечение совершенствования нормативной правовой базы, в целях повышения эффективности систем оценки условий труда и улучшения здоровья работающих, выявления и оценки профессиональных рисков.

Совершенствование обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, формированию страховых тарифов в зависимости от состояния условий и охраны труда на рабочих местах.

Разработка комплексных мер, направленных на экономическое стимулирование технического перевооружения и модернизацию производства в целях улучшения условий труда, последовательное снижение доли производственного оборудования с выработанным ресурсом и сроком службы в общем объеме основных производственных фондов.

Совершенствование системы и методов, проведения предварительных при поступлении на работу и периодических медицинских осмотров работников, занятых во вредных и опасных условиях труда.

Совершенствование системы подготовки и переподготовки специалистов в сфере охраны труда с учетом соответствующих профессиональных стандартов и с использованием современных технологий.

Содействие развитию системы после сменной реабилитации работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, включая профилактику стресса на работе.

Совершенствование системы обеспечения работающих современными средствами индивидуальной защиты.

## 5.1 Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”. Для реализации этих законов приняты Постановления.

Правительства РФ —О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда, —О службе охраны труда, —О Федеральной инспекции труда и др. 95 Управление охраной труда осуществляет блок федеральных органов исполнительной власти, руководимый Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации (Минздравсоцразвития). Оно осуществляет функции государственной политики и нормативноправовому регулированию в сфере здравоохранения и социального развития, социального страхования, условий и охраны труда и т. д. Функции по контролю и надзору, которые ранее осуществлялись Санэпиднадзором Минздрава России, переданы Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор). Федеральная служба по труду и занятости (Роструд) осуществляет функции по надзору и контролю в сфере труда, а также государственный надзор и контроль за соблюдением, в частности, трудового законодательства и нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права; установленного порядка расследования и учета несчастных случаев на производстве. Федеральное агентство по здравоохранению и социальному развитию (Росздрав) организует деятельность по установлению связи заболевания с профессией, государственной службы медико-социальной экспертизы и др. Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения и социального развития (Росздравнадзор) осуществляет контроль за порядком организации осуществления медико-социальной экспертизы; порядком установления степени утраты профессиональной трудоспособности в результате несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний и др. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) — государственный санитарно-эпидемиологический надзор за соблюдением санитарного законодательства; организует деятельность системы санитарно-эпидемиологической службы РФ [33].

В федеральном законе “О пожарной безопасности” (1994) определяются общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в России, дается регулирование отношений между органами государственной власти, органами местного самоуправления, предприятиями, организациями, крестьянскими хозяйствами и иными юридическими лицами независимо от форм собственности. Федеральный закон. О промышленной безопасности опасных производственных объектов (1997) определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности организаций к локализации последствий аварий.

## 5.2 Производственная безопасность

### 5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

На основе анализа видов работ выявим источники опасности, т.е. части производственных систем, производственного оборудования и элементы среды, формирующие эти опасности. Данные представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-15)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
1. Полевые работы	1. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны. 2. Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу	1. Двигательные машины и механизмы. 2. Пожаро-опасность, взрывоопасность.	ГОСТ 12.1.005- 88 ГОСТ 12.2.044-80
2. Камеральные работы	1. Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу	1. Пожаро-опасность, взрывоопасность.	ГОСТ 12.1.007- 76 ГОСТ 12.1.001-91
	2. Превышение уровней шума	2. Повышенный уровень статического электричества	ГОСТ 12.1.045- 84 ГОСТ 12.1.003- 83 С ИЗМ. 1999 Г.
	3. Превышение уровней вибрации	3. Повышенный уровень статического электричества	ГОСТ 12.1.045- 84 ГОСТ 12.1.003- 83 С ИЗМ. 1999 Г. ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ

## 5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

### 1. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.

Нефтяной газ с воздухом составляют газоздушную смесь, пары нефти с воздухом составляют парогазовую смесь. Смеси способны гореть и взрываться.

При горении нефти выделяется значительное количество токсичных газов: сернистый ангидрид, двуокись азота и угарный газ.

Основная опасность, которую представляет свободный нефтяной газ – это способность создавать взрывоопасную смесь с воздухом. Основными горючими компонентами нефтяного газа являются предельные углеводы. Основную массу паров неразгазированной нефти составляют метан и пропан [26].

### 2. Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу.

Продукция транспортируется по трубопроводам под давлением. При аварийном порыве нефтегазосборного трубопровода произойдет выброс продукта (сырой нефти и попутного нефтяного газа) на поверхность почвы и выделение в атмосферу взрывоопасного газа (паров). При аварийном порыве водовода высокого давления произойдет выброс пластовой воды с высокой степенью минерализации на поверхность почвы [28].

Трубопроводы и их сооружения после включения в работу функционируют в автоматическом режиме. Для поддержания объекта в рабочем состоянии необходимо следить за режимом работы по показаниям приборов и измерений.

Трубопроводы, арматуру следует периодически осматривать и обслуживать согласно утвержденным графикам и регламентам работ. Результаты осмотров необходимо заносить в журнал осмотров и ремонтов трубопровода.

При обслуживании особое внимание должно быть обращено на герметичность арматуры, фланцевых соединений, состояние сварных швов трубопроводов. За герметичность сооружений необходимо установить постоянный контроль.

### 3. Пожаро-опасность, взрывоопасность.

Работы, выполняемые на объектах, должны проводиться искробезопасным инструментом.

Для обеспечения безопасности эксплуатации в зимнее время необходимо предотвращать замерзание, застывание транспортируемого продукта. Необходимо хорошо знать наиболее опасные места возможного замораживания трубопроводов, арматуры и тщательно следить за их состоянием [27].

При открывании и закрывании арматуры запрещается пользоваться ломом, трубами и другими подобными приспособлениями. Размораживать замерзшие участки на трубопроводах необходимо – горячей водой (при температуре до 60 °С), применение открытого огня запрещается, разогрев образовавшейся пробки без отключения от общей системы не разрешается. В случае замерзания трубопроводов и арматуры необходимо поступать следующим образом:

1. после тщательного осмотра необходимо убедиться в том, что замерзший участок не поврежден и не разорван ледяной пробкой;
2. принять меры к отключению замерзшего участка от основной системы;
3. отогреть замерзший участок водой

#### 4. Повышенный уровень статического электричества.

Для снижения интенсивности накопления электрических статических зарядов на нефтепродуктах внутри резервуаров допускается использование металлических струн, протянутых вертикально внутри резервуаров от крыши до днища. При этом резервуар должен быть заземлен. Фланцевые соединения трубопроводов, аппаратов, корпусов с крышками и соединения на 90 разбортовке не требуют дополнительных мер по созданию непрерывной электрической цепи. При этом запрещается применение шайб из диэлектрических материалов и шайб, окрашенных неэлектропроводными красками.

Средства индивидуальной защиты от статического электричества:

- Специальная одежда антиэлектростатическая;
- Специальная обувь антиэлектростатическая;
- Предохранительные приспособления антиэлектростатические (кольца и браслеты);
- Средства защиты рук антиэлектростатические (перчатки);

Необходимо осуществлять контроль исправности молниеотводов и заземляющих устройств с проверкой сопротивления заземлителей не реже одного раза в год (летом при сухой погоде) с оформлением результатов контроля. Величина сопротивления заземлителя не должна отличаться более чем в пять раз от зафиксированной при приемке молниеотвода в эксплуатацию [28].

#### 5. Движущие машины и механизмы.

При выполнении работ с применением ПС запрещается:

1. нахождение людей возле работающего крана стрелкового типа во избежание зажатия их между поворотной частью и другими неподвижными сооружениями;
2. нахождение людей под стрелой ПС при ее подъеме и опускании с грузом и без груза;
3. включение механизмов ПС при нахождении людей на поворотной платформе ПС вне кабины.

При работе экскаватора необходимо осуществлять следующие меры предосторожности:

1. находиться не ближе 5 м от зоны максимального выдвижения ковша;
2. запрещается производить погрузку, если в кабине водителя или между автомобилем и экскаватором находятся люди.

Так же необходимо соблюдать технику безопасности при работе оборудования, машин и механизмов, а их эксплуатацию должны выполнять только лица имеющие на это право [31].

#### 6. Превышение уровней шума.

Производственный шум различной интенсивности и спектра (частоты), длительно воздействуя на работающих, может привести со временем к понижению остроты слуха у последних, а иногда и к развитию профессиональной глухоты. Помимо местного действия – на орган слуха, шум оказывает и общее действие на организм работающих. Шум является внешним раздражителем, который воспринимается и анализируется корой головного мозга, в результате чего при интенсивном и длительно действующем шуме наступает перенапряжение центральной нервной системы, распространяющееся не только на специфические слуховые центры, но и на другие отделы головного мозга.

При разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочего места следует принимать все необходимые меры по снижению шума, воздействующего на человека на рабочих местах, до значений, не превышающих допустимые. Разработкой шумобезопасной техники;

применением средств и методов коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029-2001; применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-1988.

Таблица 5.2 Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука (ГОСТ 12.1.003-83 с изм. 1999 г.)

Вид работы	Уровень звука, дБа	
	Фактическое значение	Допустимое значение
Умственная работа, по точному графику с инструкцией (операторская), точная категория зрительных работ	55	65

## 7. Вибрация.

Появление данного вредного фактора вызвано тем, что через кожухотрубчатый теплообменник проходят потоки воды со скоростью от 0,6 до 1 м/с. При этом поток многократно меняет своё направление, 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.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма — в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни.

Ограничение времени воздействия вибрации должно осуществляться путем установления для лиц виброопасных профессий внутрисменного режима труда, реализуемого в технологическом процессе.

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.

Режим труда должен устанавливать требования:

- по рациональной организации труда в течение смены;
- по сокращению длительности непрерывного воздействия вибрации на оператора и введению регулярно повторяющихся перерывов (защита временем).

Рациональная организация труда в течение смены должна предусматривать:

- длительность рабочей смены не более 8 ч (480 мин);
- установление 2 регламентированных перерывов, учитываемых при установлении нормы выработки: длительностью 20 мин через 1 - 2 ч после начала смены, длительностью 30 мин примерно через 2 ч после обеденного перерыва;
- обеденный перерыв длительностью не менее 40 мин примерно в середине смены.

Регламентированные перерывы должны использоваться для активного отдыха и лечебно-профилактических мероприятий и процедур. [35]

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.

При проектировании и строительстве зданий и промышленных объектов, других элементов производственной среды, а также разработке технологических процессов должны быть использованы методы, снижающие вибрацию на путях ее распространения от источника возбуждения, по ГОСТ 26568-85.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Мероприятия, направленные на сокращение и уменьшение воздействия на окружающую среду, условно подразделяются на профилактические и технологические.

Профилактические обеспечивают безаварийную работу оборудования. Технологические способствуют сокращению объемов выбросов и снижению их приземных концентраций [25].

Общие профилактические мероприятия, направленные на сокращение и уменьшение воздействия на окружающую среду:

- устройство и озеленение площадки;
- поддержание в полной технической исправности и герметичности резервуаров и емкостей, содержащих нефть и нефтепродукты, технологического оборудования и трубопроводов;
- планово-предупредительные ремонты технологического оборудования, выполняемые по утвержденным планам-графикам специализированными бригадами предприятия;
- контроль сварных стыков физическими методами;
- гидравлическое испытание трубопроводов, резервуаров и оборудования на прочность и герметичность;
- контролируемый и планируемый слив воды после гидроиспытаний;
- высокие требования к качеству металла труб;
- необходимый запас надежности по толщине стенки труб;

Общие технологические мероприятия, направленные на сокращение и уменьшение воздействия на окружающую среду:

- покрытие оборудования и трубопроводов антикоррозионной изоляцией;
- защита оборудования от атмосферной коррозии;
- система постоянного контроля регламентированных значений технологических параметров, автоматическое регулирование и система ПАЗ при отклонении от заданных параметров для предупреждения аварийных ситуаций.

#### **5.3.1 Основные мероприятия по охране атмосферного воздуха**

С целью снижения неорганизованных выбросов вредных веществ в атмосферу через неплотности аппаратов, арматуры, фланцевых соединений, уплотнений предусмотрены следующие мероприятия:

- применение герметичных аппаратов и трубопроводов под давлением;
- герметичность трубопроводов за счет максимального соединения элементов трубопроводов сваркой;
- применение технологического оборудования и запорно-регулирующей арматуры в соответствии с рабочими параметрами процесса и коррозионной активностью среды;
- предусмотрена система предохранительных клапанов для защиты аппаратов и трубопроводов от превышения давления;
- сброс нефти от предохранительных клапанов направляется в резервуары;
- оборудование резервуаров надежным и эффективными непримерзающими предохранительными клапанами;
- хранение нефти в резервуарах предусмотрено под «азотной подушкой»;
- предусмотрены насосы с двойным торцевым уплотнением;
- сбор утечек от насосов, технологического оборудования предусмотрен в емкости закрытой дренажной системы опасных стоков;

- для опорожнения технологических аппаратов и трубопроводов в нормальном и аварийном режимах от легковоспламеняющихся и горючих жидкостей также предусмотрена закрытая дренажная система;
- непрерывный контроль загазованности в местах максимально возможных выделений углеводорода;
- периодический контроль максимально разовой ПДК не реже 1 раза в квартал (для веществ III, IV классов опасности), не реже 1 раза в месяц (для веществ II класса опасности);
- периодический контроль за среднесменными ПДК не реже 1 раза в месяц.

### **5.3.2 Основные мероприятия по защите поверхностных вод**

Для защиты поверхностных вод предусмотрены следующие мероприятия:

- обвалование площадок вокруг резервуаров с нефтью и оборудования, где возможны разливы нефтепродуктов;
- организованный отвод стоков с обвалований каре резервуаров и отбортованных технологических площадок;
- открытая дренажная система поверхностных стоков;
- открытая дренажная система опасных стоков;
- закрытая дренажная система;
- покрытие противодиффузионным экраном (геомембраной) территории каре резервуаров;
- установка запорной секционирующей арматуры для локализации аварийных разливов нефтепродуктов в случае разгерметизации оборудования и трубопроводов.

Для предупреждения истощения подземных вод предусмотрены следующие мероприятия:

- учёт использования подземных вод на проектируемом объекте;
- строгое соблюдение лимитов на воду;

### **5.3.3 Основные мероприятия по охране почв**

Для защиты почв при эксплуатации месторождения предусмотрены следующие мероприятия:

- выполнение строительных работ исключительно в пределах монтажной площадки;
  - вертикальная планировка участков в условиях вечномёрзлых грунтов, отводимых под строительство, устраивается сплошной подсыпкой с соблюдением принципа сохранения сложившегося термовлажностного режима грунтов в основании возводимых сооружений;
  - использование теплоизолирующих прослоек для уменьшения высоты насыпи, обладающих небольшим коэффициентом теплопроводности и достаточной прочностью (пеноплекс, пенопласт);
  - защита откосов насыпи от разрушительного воздействия атмосферных явлений укреплением георешеткой с заполнением песком;
  - организация площадок для сбора и хранения отходов производства и потребления;
  - сдача отходов производства и потребления осуществляется в специализированную организацию
  - планировка и устройство твердого покрытия на технологических площадках;
  - устройство ограждающих стен вокруг технологических резервуаров;
  - устройство водопропускных труб под дорогами для предотвращения заболачивания и сохранения влажностного режима территории;
- рекультивация земель.

## 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

По вероятности образования взрывоопасной концентрации паров нефти в смеси с воздухом сооружения на месторождении относятся:

- зона расположения технологических нефтепроводов к наружным установкам класса В-1 Г;
- здание ЛГКС к классу В-1 А;
- укрытие ёмкостей дренажа учтенной ЕП-407 и не учтенной ЕП-408 нефти к классу В-1 А;
- пары нефти в смеси с воздухом или взрывоопасная среда классифицируется второй категорией и третьей группой (2ГЗ);
- электротехническое оборудование (электроприводы, пусковая аппаратура, светильники и т.д.) имеют взрывозащищенное исполнение [26].

При аварийных ситуациях персонал действует согласно плану ликвидации аварий.

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разработаны с целью создания оптимальной системы противопожарной защиты, способной обеспечить необходимый уровень пожарной безопасности.

Пожарная безопасность обеспечивается расположением зданий, сооружений и наружных установок в соответствии с противопожарными нормами, выбором конструкции и материалов зданий и сооружений, техническими мероприятиями. Составлен план ликвидации возможных аварий, утвержденный, главным инженером предприятия и согласован с местными органами Госпожнадзора.

На территории объекта предусмотрены следующие противопожарные мероприятия:

- все разрывы между зданиями и сооружениями приняты согласно противопожарным нормам;
- проезды на площадках запроектированы из условия обеспечения подъезда пожарных машин к сооружениям и оборудованию;
- размещение зданий и сооружений на площадке произведено с учетом пожарной и взрывной безопасности.

Для зданий и сооружений предусмотрены мероприятия, предотвращающие распространение пожара, ограничивающие площадь, интенсивность и продолжительность горения:

- производственные здания запроектированы не ниже II степени огнестойкости из конструкций заводского изготовления;
- помещения с взрывопожароопасными и вредными производствами изолированы от помещений без повышенной опасности;
- в зданиях категории «А» для снижения тяжести возможного взрыва предусмотрены легкобрасываемые конструкции (ЛСК);
- в качестве ЛСК используется оконное остекление в наружных стенах, недостающая площадь компенсируется устройством участков легкобрасываемой кровли;
- полы во всех взрывоопасных помещениях предусмотрены из материалов, не дающих искры;
- на случай возникновения пожара проектом обеспечена возможность безопасной эвакуации находящихся в зданиях людей через эвакуационные выходы;
- количество запроектированных эвакуационных выходов из помещений, ширина проходов, коридоров и лестниц, а также максимальное расстояние от наиболее удаленных рабочих мест до выходов соответствует требованиям.
- все производственные здания высотой до верха парапета более 10 м имеют выходы на кровлю по наружным (пожарным) металлическим лестницам.

Все оборудование, предусмотренное проектом, имеет сертификации в области пожарной безопасности государственной противопожарной службы МВД России.

Все устанавливаемое оборудование заземляется в соответствии с нормами ПУЭ.

### **Чрезвычайная ситуации техногенного характера**

#### **Пожар**

Действия работников в случае возникновения пожара:

1. Обслуживающий персонал должен быть обучен приемам безопасного ведения технологических процессов и ликвидации возможных аварий.
2. Первый заметивший пожар, обязан немедленно сообщить об этом начальнику смены или вышестоящему руководителю, которые в свою очередь должны принять меры по локализации пожара, а именно:
  - доложить об аварийной ситуации начальнику смены, начальнику цеха или его заместителю;
  - вызвать аварийно-спасательную, пожарную и медицинскую службы;
  - в случае отказа автоматического запуска системы противопожарной защиты, включить ее в дистанционном режиме путем нажатия кнопки на извещателе пожарном ручном (соответствующего направления пожаротушения), устанавливаемом снаружи эвакуационных выходов из взрывопожароопасного помещения;
  - прекратить все ремонтные работы на установках;
  - удалить людей, не занятых в ликвидации аварии, из опасной зоны;
  - оказать первую помощь пострадавшим;
  - выключить приточную и вытяжную вентиляцию (если пожар в помещении);
  - отключить дефектный участок с обеих сторон ближайшей запорной арматурой, при необходимости аварийно остановить соответствующую технологическую установку;
  - до прибытия пожарной части, приступить к ликвидации очагов пожара имеющимися средствами пожаротушения (пожарные гидранты, лафетные установки, огнетушители) для охлаждения оборудования, для предотвращения перехода огня на соседние участки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломного проекта были выполнены тепловой, конструктивный, гидравлический и механический расчеты горизонтального кожухотрубного теплообменного аппарата, служащего для подогрева свободного нефтяного газа водой, а также рассчитана тепловая изоляция аппарата.

Также в работе выбрана трубная решетка, способ размещения и крепления в них теплообменных труб и трубных решеток к кожуху, выбрана конструктивная схема поперечных перегородок и определено расстояние между ними, подобраны крышки и днища аппарата, определены диаметры штуцеров, выбраны фланцы, прокладки и крепежных элементов, подобраны опоры аппарата. Также выполнена проверка на необходимость установки компенсирующего устройства. Для рассматриваемого случая устанавливать компенсирующее устройство нет необходимости.

В разделе гидродинамического расчета определены потери давления, которые для трубного пространства составили 5193 Па, а для межтрубного – 4956 Па.

В качестве тепловой изоляции аппарата выбрана минеральная вата, которую необходимо укладывать толщиной 6 мм

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» рассмотрена экономическая часть проекта, определена прибыль. Проведен анализ безубыточности, аналитическим и графическим способом.

В разделе «Социальная ответственность» были представлены мероприятия для безопасного и экологичного ведения производственного процесса, рассмотрены вопросы пожарной безопасности. Проведен анализ вредных производственных и опасных факторов, а так же дано обоснование мероприятий по их устранению

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Е. Романков, А. А. Носков; под ред. П. Е. Романкова. - 10-е изд., перераб. и доп., репринт, изд. - М.: Альянс, 2013. - 576 с..
2. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Учебное пособие. Часть 1 /Томский политехнический университет. – Томск, 2003. – 118 с..
3. ГОСТ 5520-2017. Прокат толстолистовой из нелегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия. – Изд. Официальное. – М.: Стандартинформ, 2018. – 24 с..
4. ГОСТ 34233.1-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. - Изд. Официальное. – М.: Стандартинформ, 2018. – 31 с..
5. ГОСТ 34233.2-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. - Изд. Официальное. – М.: Стандартинформ, 2018. – 60 с..
6. ГОСТ 31842-2012. Нефтяная и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования. - Изд. Официальное. – М.: Стандартинформ, 2013. – 34 с..
7. ГОСТ 34233.3-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчёт на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. - Изд. Официальное. – М.: Стандартинформ, 2018. – 41 с..
8. ГОСТ 34233.7-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Теплообменные аппараты. - Изд. Официальное. – М.: Стандартинформ, 2018. – 53 с..
9. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением»
10. ГОСТ 34233.4-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчёт на прочность и герметичность фланцевых соединений. - Изд. Официальное. – М.: Стандартинформ, 2018. – 41 с..
11. ГОСТ 34233.5-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчёт обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. - Изд. Официальное. – М.: Стандартинформ, 2018. – 35 с..
12. ГОСТ Р 55601-2013 Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках. Общие технические требования
13. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры. Справочник. 3-е изд., стереотипное. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с..
14. ГОСТ 12821-80. Фланцы стальные приварные встык на Ру от 0,1 до 20 МПа (от 1 до 200 кгс/см кв.). Конструкция и размеры. – Изд. Официальное – М.: Государственный стандарт союза ССР, 2003 с изменениями №1,2,3,4, утверждёнными в 1983 г., 1987 г., 1989 г., 1992 г. – 59 с..
15. ГОСТ 7798-70. Болты с шестигранной головкой и шестигранные гайки диаметром до 48 мм. Конструкция и размеры. – Изд. Официальное – М.: Стандартинформ, 2010. – 13 с..
16. ГОСТ 481-80. Паронит и прокладки из него. Технические условия. - Изд. Официальное. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 14 с..
17. ГОСТ 12815-80. Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на Ру от 0,1 до 20,0 МПа (от 1 до 200 кгс/см кв.). Типы. Присоединительные размеры и размеры уплотнительных поверхностей. - Изд. Официальное. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 17 с..

18. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования
19. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник.- Л.: Машиностроение, 1981. - 382 с..
20. ОСТ 26-2091-93 Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция
21. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. - М.:Химия, 1991. 496 с
22. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Учебно-методическое пособие /Томский политехнический университет. – Томск, 2014. – 36 с..
23. Белов, Сергей Викторович. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) : учебник для академического бакалавриата / С. В. Белов. - 5-е изд., перераб. и доп.. - Москва: Юрайт ИД Юрайт, 2015. - 703 с.
24. Булыгин Ю.А. Теплообменные аппараты в промышленности: учеб. пособие / Ю.А. Булыгин, С.С. Баранов. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. – 100 с.
25. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
26. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
27. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
28. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности
29. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля
30. ГОСТ 30852.19-2002 (МЭК 60079-20:1996) Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 20. Данные по горючим газам и парам, относящиеся к эксплуатации электрооборудования
31. ГОСТ 12.2.044-80 ССБТ. Машины и оборудование для транспортирования нефти. Требования безопасности
32. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.[Текст]. – официальное издание М.: Стандартинформ, 2007- 4с. ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности [Текст]. –официальное издание М.: Стандартинформ, 20015-20 с.
33. Закон Российской Федерации “О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера”
34. Федеральный закон «О пожарной безопасности».
35. ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
36. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах – утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 21.06.2016 N 81: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2016. – 43 с.

Приложение А  
Спецификация

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
A1			ФЮРА УПНГ 00.00.00 В0	Вид общий	1	
A4			ФЮРА УПНГ 00.00.00 ПЗ	Пояснительная записка	1	
			ФЮРА УПНГ 00.03.00	Крышка		
<i>Сборочные единицы</i>						
		1	ФЮРА УПНГ 00.01.00	Корпус	1	
A1		2	ФЮРА УПНГ 00.02.00	Крышка распределительная	1	
		3	ФЮРА УПНГ 00.03.00	Крышка	1	
		4	ФЮРА УПНГ 00.04.00	Трубная решетка	1	
		5	ФЮРА УПНГ 00.05.00	Опора седловая левая	1	
		6	ФЮРА УПНГ 00.06.00	Опора седловая правая	1	
<i>Детали</i>						
		7	ФЮРА УПНГ 00.00.01	Штуцер водяной	2	
		8	ФЮРА УПНГ 00.00.02	Штуцер газовый	2	
		9	ФЮРА УПНГ 00.00.03	Прокладка паронит ПМБ-2,0 ГОСТ 481-80	2	
		10	ФЮРА УПНГ 00.00.04	Прокладка паронит ПМБ 2,0 ГОСТ 481-80	2	
		11	ФЮРА УПНГ 00.00.05	Прокладка паронит ПМБ 2,0 ГОСТ 481-80	2	
		12	ФЮРА УПНГ 00.00.06	Основа под пластину	1	
		13	ФЮРА УПНГ 00.00.07	Пластина	1	
<b>ФЮРА УПНГ 00.00.00</b>						
Изм. Лист		№ докум.		Подп.	Дата	
Разраб.		Кондратова Т.В.				
Проб.		Семакина О.К.				
Н.контр.						
Утв.						
<b>Теплообменник кожухотрубчатый</b>				Лит.	Лист	Листов
					1	2
ТГУ ИШНГТ НОЦ Н.М. Кижнера группа 3-2к41 Формат А4						

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Стандартные изделия</u>		
		14		Заклепка слепая алюминиевая ТОРЕХ3х8	4	
		15		Болт М20х80.56.019 ГОСТ 7798-70	4	
		16		Шпилька М20х100.56.019 ГОСТ 22042-76	52	
		17		Гайка М20.6.019 ГОСТ 5915-70	104	
		18		Гайка М16.6.019 ГОСТ 5915-70	8	
		19		Шпилька М16х100.56.019 ГОСТ 22042-76	16	
		20		Шпилька М16х100.56.019 ГОСТ 22042-76	16	
		21		Гайка М24.6.019 ГОСТ 5915-70	32	
				<u>Материалы</u>		
		6		Эмаль ПФ-133 красная ГОСТ 926-82	5	к2
				Лак ГФ-95 ГОСТ 8018-70	5	к2
				Эмаль кремнийорганическая КО-870		
				ТУ 2312-002-24358611-2004 серая	7	к2
				Эмаль кремнийорганическая КО-870		
				ТУ 2312-002-24358611-2004 оранжевая	3	к2
				Грунт ГФ-0119 ГОСТ 23343-78	2	к2
				Эмаль ХВ-16 серия ТУ 6-10-1301-83	2	к2
				Смазка пушечная ГОСТ 19537-89	0,5	к2

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № докл.
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ФЮРА УПНГ 00.00.00

Лист  
2