

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**  
 Направление подготовки **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, профиль Машины и аппараты химических производств**  
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка теплообменной аппаратуры для подогрева сырой нефти

УДК 66.045.1-047.84:665.6.041.132

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Чернов Алексей Владимирович		

Руководитель

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Механический расчет оборудования»

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

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына З.В	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

## 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)

P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	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  
 \_\_\_\_\_ Беляев В.М.  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

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

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4К51	Чернов Алексей Владимирович

Тема работы:

Разработка теплообменной аппаратуры для подогрева сырой нефти	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1235/с от 18.02.2019
Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2019

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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>Разработка теплообменной аппаратуры для подогрева сырой нефти          Холодный теплоноситель – сырая нефть;          Горячий теплоноситель – насыщенный водяной пар;          Расход холодного теплоносителя: 100 м<sup>3</sup>/ч;          Температура горячего теплоносителя: 120 °С;</p>
---	---

	Начальная температура холодного теплоносителя: 10°C; Конечная температура холодного теплоносителя: 85°C; Давление в трубном пространстве: 0.6 МПа Давление в межтрубном пространстве: 0.2 МПа
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <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>	Реферат Введение 1 Описание технологической схемы 2 Расчет кожухотрубчатого теплообменника 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 4 Социальная ответственность Заключение Список литературы
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Лист 1 – Технологическая схема А2 Лист 2 – Общий вид кожухотрубчатого теплообменника А1 Лист 3 – Общий вид кожухотрубчатого теплообменника А1 Лист 4 – Техничко-экономические показатели А2
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына Зоя Васильевна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Механический расчет оборудования	Беляев Василий Михайлович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	25.01.2019
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Чернов Алексей Владимирович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4К51	Чернову Алексею Владимировичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение(НОЦ)</b>	<b>Н.М. Кижнера</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	18.03.02. Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

<p>1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></p>	<p><i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос</i></p>
<p>2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></p>	
<p>3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i></p>	

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

<p>1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i></p>	<p><i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i></p>
<p>2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i></p>	<p><i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i></p>
<p>3. <i>Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i></p>	<p><i>Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.</i></p>

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

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

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Чернов Алексей Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4К51	Чернову Алексею Владимировичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение(НОЦ)</b>	<b>Н.М. Кижнера</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	18.03.02. Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – Кожухотрубчатый теплообменник Рабочая зона –Открытая площадка Область применения – Нефтяная промышленность
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1.Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> -специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; -организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.
<b>2.Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1.Повышенный уровень вибрации; 2.Повышенный уровень шума; 3.Электрический ток; 4.Повышенная температура поверхности оборудования;
<b>3. Экологическая безопасность:</b> -анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу(отходы)	- Вредные вещества, которые выделяются или используются во время работы аппарата - Вредные воздействия на гидросферу и литосферу не воздействуют.

<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения-пожар, взрыв;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий:</li> <li>1. использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла</li> <li>2. в случае стихийных бедствий отключение воды и электричества</li> <li>3. организационная эвакуация работающих;</li> </ul>
--	---

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Чернов Алексей Владимирович		

## Реферат

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, содержащей 124 страницы машинописного текста, 18 рисунков, 39 таблиц, 35 источников литературы, 2 листа графического материала формата А1 и 2 листа графического материала формата А2.

Ключевые слова: кожухотрубчатый теплообменник, неподвижные трубные решетки, поверхность теплообмена, прочность, устойчивость.

Объектом исследования является кожухотрубчатый теплообменник.

Цель работы – Разработка кожухотрубчатого теплообменника для подогрева сырой нефти.

В ходе выполнения работы были произведены все необходимые расчеты для конструирования аппарата, определены его размеры и основные механические характеристики.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Аппарат диаметром 800 мм, толщина стенки 6 мм, длина 7330 мм, 4 штуцера диаметрами 350, 250 и 125 мм, 442 трубки.

Степень внедрения: подогрев сырой нефти.

Область применения: нефтяная промышленность.

В ходе работы было подтверждено, что рассчитанный теплообменник соответствует всем предъявляемым технологическим характеристикам.

## **Abstract**

The diploma project consists of an explanatory note containing 124 pages of typewritten text, 18 figures, 39 tables, 35 sources of literature, 2 sheets of graphic material A1 and 2 sheets of graphic material A2.

Keywords: shell-and-tube heat exchanger, fixed tube grids, heat exchange surface, strength, stability.

The object of the study is a shell-and-tube heat exchanger.

The purpose of the work – the Calculation of shell-and-tube heat exchanger for heating crude oil.

In the course of the work were made all the necessary calculations for the design of the device, determined its size and basic mechanical characteristics.

The main design, technological and technical and operational characteristics: the Device with a diameter of 800 mm, wall thickness of 6 mm, length of 7330 mm, 4 fittings with diameters of 350, 250 and 125 mm, 442 tubes.

Degree of implementation: heating of crude oil.

Field of application: oil industry.

During the work it was confirmed that the calculated heat exchanger meets all the required technological characteristics.

## Содержание

Введение.....	16
1 Описание технологической схемы.....	17
2 Расчет кожухотрубчатого теплообменника.....	18
2.1 Технологический расчет.....	18
2.1.1 Тепловой расчет.....	18
2.1.1.1 Определение движущей силы процесса теплопередачи.....	18
2.1.1.2 Ориентировочный расчет теплообменника.....	20
2.1.1.3 Уточненный расчет теплообменника.....	21
2.2 Конструктивный расчет.....	25
2.3 Механический расчет.....	28
2.3.1 Выбор конструкционного материала.....	29
2.3.2 Расчет толщины стенки кожуха.....	30
2.3.3 Расчет температурных деформаций.....	33
2.3.4 Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки.....	35
2.3.4.1 Проверка условия прочности.....	37
2.3.5 Расчет толщины стенки распределительной камеры.....	38
2.3.5.1 Проверка условия прочности.....	39
2.3.6 Проверка необходимости укрепления отверстий в обечайке.....	39
2.3.6.1 Расчет параметров цилиндрической оболочки и штуцера.....	41
2.3.6.2 Укрепление отверстия штуцером.....	41
2.3.6.3 Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления при отсутствии избыточной толщины стенки сосуда и при наличии штуцера .....	42
2.3.6.4 Проверка условий расчета укреплений отверстий.....	42
2.3.7 Расчет фланцевого соединения.....	42
2.3.7.1 Основные расчетные значения.....	45
2.3.7.2 Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения.....	47
2.3.7.3 Усилия в шпильках фланцевого соединения при затяжке в рабочих условиях.....	48
2.3.7.4 Податливость прокладки и шпилек.....	48
2.3.7.5 Расчетные параметры и угловая податливость фланцев.....	49
2.3.7.6 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости.....	50

2.3.7.7 Проверка прочности шпилек и прокладки.....	51
2.3.7.8 Расчет фланцев на статическую прочность.....	52
2.3.7.9 Расчетные напряжения во фланце при затяжке.....	52
2.3.7.10 Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях.....	53
2.3.7.11 Проверка условий статической прочности фланцев.....	54
2.3.7.12 Проверка углов поворота фланцев.....	56
2.3.7.13 Расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость.....	56
2.3.8 Поверочный расчет кожухотрубчатого теплообменника.....	57
2.3.8.1 Расчет вспомогательных величин.....	59
2.3.8.2 Определение усилий в элементах теплообменного аппарата.....	63
2.3.8.3 Расчетные напряжения в элементах конструкции.....	66
2.3.8.4 Проверка прочности и устойчивости кожуха.....	69
2.3.8.5 Проверка прочности и жесткости трубных решеток.....	70
2.3.8.6 Расчет труб на прочность и расчет крепления труб в решетке.....	70
2.3.8.7 Проверка кожуха, обечайки и труб на малоцикловую прочность.....	72
2.3.9 Расчет массы аппарата.....	73
2.3.10 Расчет обечайки, нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор.....	75
2.3.10.1 Проверка несущей способности обечайки, неукрепленной кольцами жесткости в области опорного узла.....	78
2.4 Гидравлический расчет.....	84
2.5 Расчет тепловой изоляции.....	86
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	87
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	87
3.2 SWOT-анализ.....	88
3.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	89
3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	89
3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	90
3.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	91
3.3.4 Бюджет научного исследования.....	93
3.4 Расчет производственной мощности.....	98
3.5 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству.....	100
3.6 Расчет затрат на производство продукции.....	102
3.6.1 Расчет годовой потребности в сырье и материалах.....	102

3.6.2 Расчет амортизационных отчислений.....	102
3.7 Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства.....	103
3.8 Определение цены готовой продукции.....	104
3.8.1 Анализ безубыточности по действующему производству.....	104
3.9 Определение технико-экономических показателей.....	106
4 Социальная ответственность.....	107
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	107
4.2 Производственная безопасность.....	109
4.3 Экологическая безопасность.....	112
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	114
Заключение.....	117
Список литературы.....	118
Приложение А.....	121

## **Введение**

В настоящее время жидкое топливо имеет важнейшее значение. Оно является источником энергии для разного вида транспорта, а также для котельных, теплоэлектростанций.

Основной источник жидкого топлива - нефть. Для получения топлива нефть проходит множество подготовительных стадий, одной из которых является нагрев. Для подогрева нефти в основном используются теплообменники, которые занимают достаточную часть технологического оборудования в нефтяной промышленности. Теплообменник должен соответствовать многочисленным требованиям, а именно: удобство монтажа и ремонта, компактность, надежность, высокая тепловая производительность и экономичность. За счет использования более качественного оборудования при производстве мы можем минимизировать энерго- и трудозатраты.

## 1 Описание технологической схемы

Сырая нефть в качестве исходного сырья с помощью насоса 1 поступает в сепаратор 2, где происходит отделение газа от водонефтяной эмульсии, далее с помощью насоса 3 под давлением 0,6 МПа идет в теплообменник 4 для подогрева сырой нефти до 85°C, после поступает в отстойник 5, где происходит отделение воды от нефти. Далее нефть насосом 6 перекачивается в КСУ( концевая сепарационная установка) 7, где от неё отделяется остаточный газ.

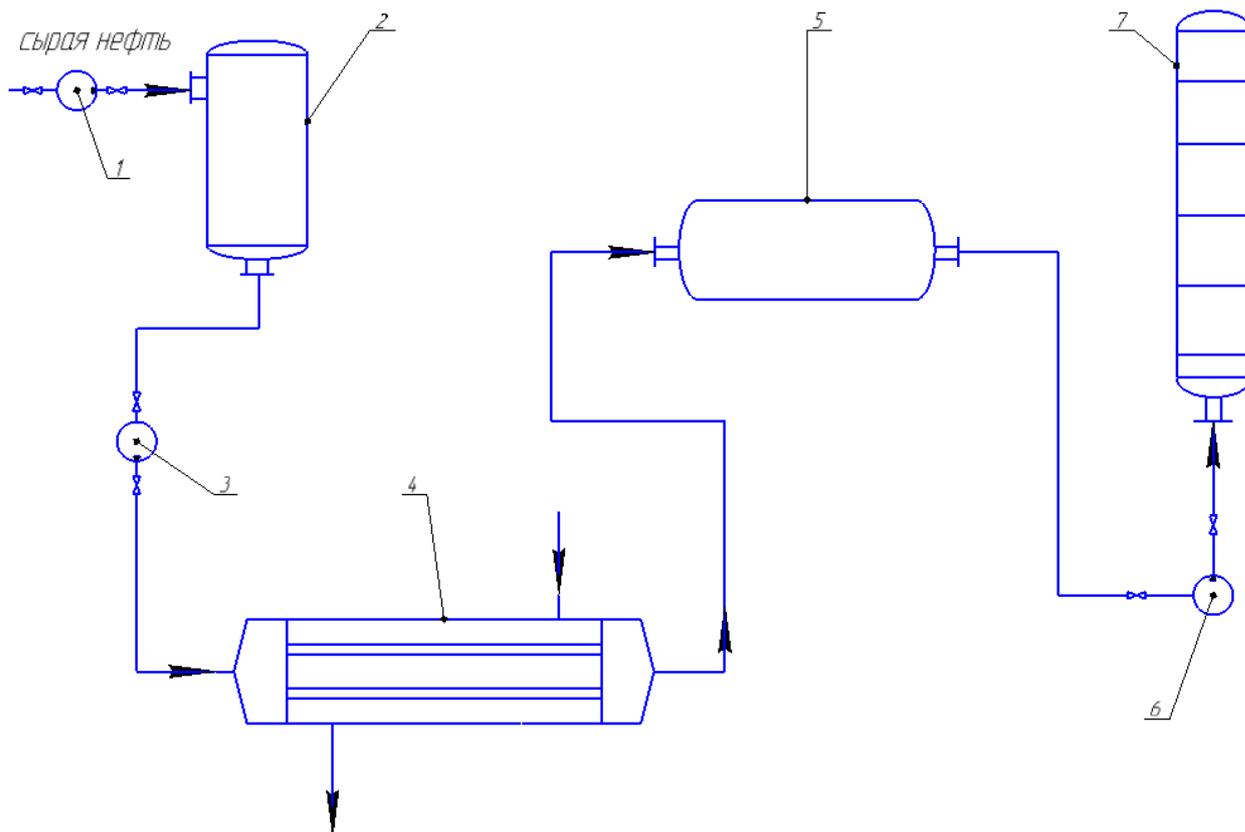


Рисунок 1.1 – Технологическая схема

1, 3, 6 – насосы, 2 – сепаратор, 4 – теплообменник, 5 – отстойник, 7- концевая сепарационная установка

					<b>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Выполнил	Чернов А.В.				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Тихонов В.В.				Д	17	1
Н. Контр.					ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4К51		
Утверд.					Описание технологической схемы		

## 2 Расчет кожухотрубчатого теплообменника

### 2.1 Технологический расчет

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

Холодный теплоноситель – сырая нефть;

Горячий теплоноситель – насыщенный водяной пар;

Расход холодного теплоносителя: 100 м<sup>3</sup>/ч;

Температура горячего теплоносителя: 120 °С;

Начальная температура холодного теплоносителя: 10 °С;

Конечная температура холодного теплоносителя: 85 °С;

Давление в трубном пространстве: 0.6 МПа.

Давление в межтрубном пространстве: 0.2 МПа.

#### 2.1.1 Тепловой расчет

##### 2.1.1.1 Определение движущей силы процесса теплопередачи

При давлении 0.2 МПа температура греющего пара равна 120 °С [1, с. 548]:

$$t_{гн} := 120 \text{ °С}$$

$$t_{гк} := 120 \text{ °С}$$

Таким образом, нагревать сырую нефть мы будем с 10 до 85 °С:

$$t_{хн} := 10 \text{ °С}$$

$$t_{хк} := 85 \text{ °С}$$

Плотность нефти при средней температуре 47,5°С :

$$\rho_1 := 850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

При объемном расходе 100 м<sup>3</sup>/ч и плотности 850 кг/м<sup>3</sup>, массовый расход нефти составит = 23.611 кг/с:

$$G_1 := V_1 \cdot \rho_1 = 23.611 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (1)$$

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Выполнил</i>		<i>Чернов А.В.</i>			<i>Технологический расчет</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Тихонов В.В.</i>				<i>Д</i>	<i>18</i>	<i>7</i>
<i>Н. Контр.</i>					<i>ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4K51</i>			
<i>Утверд.</i>								

Объемный расход нефти в м<sup>3</sup>/с:

$$V1 := \frac{100}{3600} = 0.028 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (2)$$

Удельная теплоемкость нефти при средней температуре 47,5°C [1, табл. XXXIX]:

$$Cp1 := 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Количество теплоты для холодного теплоносителя (с учетом потерь 10%):

$$Q_x := G1 \cdot Cp1 \cdot (t_{\text{хк}} - t_{\text{хн}}) = 3.719 \times 10^6 \text{ Вт} \quad (3)$$

$$Q := 3719000 \cdot 1.1 = 4.091 \times 10^6 \text{ Вт} \quad (4)$$

Удельная теплота парообразования насыщенного водяного пара [1, табл. XLV]:

$$r := 2264000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Найдем массовый расход греющего пара с учетом потерь 10%:

$$M := \frac{Q_x}{r} = 1.643 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (5)$$

$$M \cdot 1.1 = 1.807 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (6)$$

$$G2 := 1.81 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Температурная схема процесса представлена на рисунке 2.1:

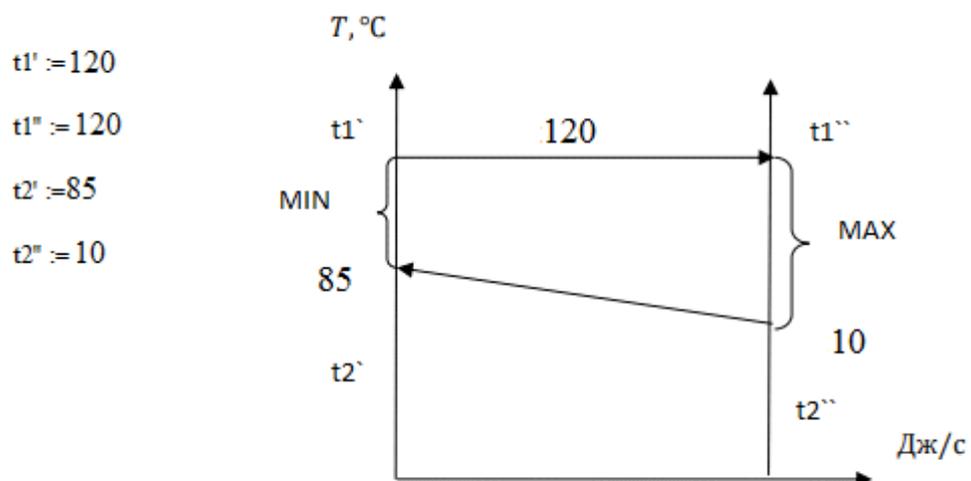


Рисунок 2.1 – Температурная схема процесса

Рассчитаем большую и малую разность температур на концах теплоносителей:

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

$$\Delta t_6 := t_{гн} - t_{хн} = 110 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

$$\Delta t_m := t_{гк} - t_{хк} = 35 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (8)$$

Определим среднюю разность температур по уравнению 4.78 [1, с. 169]:

$$\Delta t_{cp} := \frac{(\Delta t_6 - \Delta t_m)}{\ln\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}\right)} = 65.495 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (9)$$

### 2.1.1.2 Ориентировочный расчет поверхности теплообмена

По ГОСТ 10704-91 принимаем трубы 25x2 мм:

$$d_n := 25 \text{ мм}$$

$$\delta := 2 \text{ мм}$$

$$d_{вн} := 21 \text{ мм}$$

Найдем максимальную и минимальную поверхности теплопередачи:

-ориентировочные значения коэффициента теплопередачи [1, с. 172]:

$$K_{min} := 120 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$K_{max} := 340 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

-ориентировочная поверхность:

$$F_{op} := \frac{Q}{K_{op} \cdot \Delta t_{cp}} \quad (10)$$

$$F_{max} := \frac{Q}{K_{min} \cdot \Delta t_{cp}} = 520.514 \text{ м}^2 \quad (11)$$

$$F_{min} := \frac{Q}{K_{max} \cdot \Delta t_{cp}} = 183.711 \text{ м}^2 \quad (12)$$

Примем характер движения потока турбулентным:

$$Re_{op} := 10000$$

Определим вязкость нефти при средней температуре 65,5 С [1, с. 556]:

$$\mu := 0.00042 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Ориентировочное число труб на один ход:

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$$\text{пор} := \frac{G1}{0.785 \cdot RE_{\text{оп}} \cdot d_{\text{вн}} \cdot 10^{-3} \cdot \mu} = 341.019 \quad (13)$$

По [1, 2] выбираем ТН : двухходовой

Параметры выбранного теплообменника представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Параметры выбранного теплообменника

Наименование	Значение
Внутренний диаметр кожуха, мм	$D_{\text{вн}} = 800$
Длина труб, мм	$L_{\text{труб}} = 6000$
Внешний диаметр теплообменных труб, мм	$d_{\text{н}} = 25$
Внутренний диаметр теплообменных труб, мм	$d_{\text{вн}} = 21$
Эквивалентный диаметр теплообменных труб, мм	$d_{\text{э}} = 21$
Число труб	$n = 442$
Проходное сечение, м	$S_{\text{T}} = 7,7 \cdot 10^{-2}$
Число рядов труб по вертикали	$n_{\text{р}} = 22$
Расстояние между перегородками, мм	$h = 350$

### 2.1.1.3 Уточненный расчет теплообменника

Уточняем значение Re:

$$RE := \frac{\text{пор}}{n} \cdot RE_{\text{оп}} = 1.543 \times 10^4 \quad (14)$$

Режим течения турбулентный

Рассчитаем действительную поверхность теплообмена, выражая ее из основного уравнения теплопередачи 4.72 [1, с. 168]:

$$K_d := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma R + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (15)$$

Коэффициент теплоотдачи от водяного пара к стенке определим по формуле 4.49а [1, с. 161]:

$$\alpha_1 := 3.78 \cdot \epsilon t \cdot \lambda_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_1^2 \cdot N \cdot d_H \cdot 10^{-3}}{\mu_1 \cdot G_2}} \quad (16)$$

, где

$\epsilon t := 1$  - поправочная функция для водяного пара.

Все теплофизические величины берем при температуре пленки:

$$t_{cr1} := t_{ср} - 0.1 \cdot \Delta t_{ср} = 113.451 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (17)$$

$$T_{\text{пленки}} := \frac{t_{ср} + t_{cr1}}{2} = 116.725 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (18)$$

Найдем плотность конденсата водяного пара, вязкость и теплопроводность (табл. XXXIX) [1, с. 537]:

$$P_2 := 943 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\mu_1 := 231 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\lambda_1 := 0.686 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке:

$$\alpha_1 := 3.78 \cdot \epsilon t \cdot \lambda_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_2^2 \cdot N \cdot d_H \cdot 10^{-3}}{\mu_1 \cdot G_2}} = 7.428 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к нефти выразим из формулы 4.11 [1, с. 150]:

$$\alpha_2 := \frac{Nu \cdot \lambda_2}{d_H \cdot 10^{-3}} \quad (19)$$

Коэффициент теплопроводности для нефти [1, табл. XXXIX]:

$$\lambda_2 := 0.13 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Определим критерий Прандтля по рис. XIII [1, с. 564]:

$$Pr1 := \frac{Cp1 \cdot \mu}{\lambda2} = 6.785 \quad (20)$$

Для турбулентного режима критерий Нуссельта рассчитывается по формуле 4.27 [1, с. 155]:

$$Nu := 0.023 \cdot RE^{0.8} \cdot Pr1^{0.4} = 112.325 \quad (21)$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к нефти:

$$\alpha2 := \frac{Nu \cdot \lambda2}{dH \cdot 10^{-3}} = 584.089 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Рассчитаем суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений:

$$\Sigma R = \frac{1}{r_{3.1}} + \frac{1}{r_{3.2}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} \quad (22)$$

, где

$r_{3.1}$  – тепловое сопротивление загрязнения стенки со стороны пара;

$r_{3.2}$  – тепловое сопротивление загрязнения стенки со стороны нефти;

$\lambda_{ст}$  – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/м\*К

$\delta$  – толщина стенки трубок, м.

Значения  $r_{3.1}$  и  $r_{3.2}$  находим по табл. XXXI [1, с. 531]:

$$r_{3.1} := 5800 \quad r_{3.2} := 1160$$

Коэффициент теплопроводности стенки и толщина стенки трубок табл. XXVIII [1, с. 529] для стали:

$$\lambda_{ст} := 46.5 \text{ Вт/м*К} \quad \delta := 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений:

$$\Sigma R := \frac{1}{r_{3.1}} + \frac{1}{r_{3.2}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} = 1.077 \times 10^{-3} \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

Коэффициент теплопередачи и поверхность теплообмена:

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

$$K_d := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma R + \frac{1}{\alpha_2}} = 341.975 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$$

Тогда требуемая поверхность теплообмена:

$$F_d := \frac{Q}{K_d \cdot \Delta t_{cp}} = 182.65 \text{ м}^2 \quad (23)$$

Запас поверхности:

$$\Delta F := \frac{208 - 182.65}{182.65} \cdot 100 = 13.879 \text{ \%} \quad (24)$$

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		24

## 2.2 Конструктивный расчет

Найдем скорость движения нефти по трубам:

$$\omega_1 := \frac{V_1}{S_T} = 0.361 \text{ м/с} \quad (25)$$

Площадь проходного сечения трубок одного хода:

$$f_1 := \frac{G_1}{\omega_1 \cdot (\rho_1)} = 0.077 \text{ м}^2 \quad (26)$$

Количество трубок в одном ходе:

$$n_1 := \frac{f_1}{0.785 \cdot d_{BH}^2} = 222.887 \quad (27)$$

Расчетный диаметр трубки:

Поскольку  $\alpha_{тр} > \alpha_{мтр}$ , то принимаем:  $d_p := d_H$

Расчетная длина одной трубки при одном ходе:

$$L_{\text{расч}} := \frac{F_{\text{расч}}}{\pi \cdot d_p \cdot n_1} = 10.454 \text{ м} \quad (28)$$

Принимаем рабочую длину трубок равной 6 м.

Тогда число ходов трубного пространства:

$$Z := \text{ceil}\left(\frac{L}{l}\right) = 2 \quad (29)$$

Количество труб на трубной решетке рассчитываем по формуле:

$$n := Z \cdot n_1 = 445.774 \quad (30)$$

Коэффициент заполнения трубной решетки

$$\eta = 0,9$$

- Шаг между трубами:

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Выполнил	Чернов А.В.				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Тихонов В.В.				Д	25	3
Н. Контр.					ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4К51		
Утверд.					Конструктивный расчет		

$$t := 1.2 \cdot d_H \cdot 1000 + 2 = 32 \text{ мм} \quad (31)$$

Диаметр теплообменника:

$$D_{BH} := 1.1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 783.391 \text{ мм} \quad (32)$$

Выбираем стандартный теплообменник типа ТН по [2]. Параметры стандартного теплообменника представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры выбранного теплообменника

Наименование	Значение
Внутренний диаметр кожуха, мм	$D_{BH} = 800$
Длина труб, м	$l = 6$
Число ходов	$Z = 2$
Число труб	$n = 442$
Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	$F = 208$
Длина распределительной камеры, мм	$h = 500$

Длина теплообменника равна:

$$H := l + h = 6.5 \times 10^3 \text{ мм} \quad (33)$$

Рассчитаем диаметры штуцеров:

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot G}{3.14 \cdot w \cdot \rho}} \quad , \text{ где} \quad (34)$$

w – скорость (жидкости (принимается от 0.1 до 2 м/с); пара (10-35 м/с));

G – массовый расход соответствующего потока теплоносителя, кг/с;

ρ – плотность при соответствующих условиях, кг/м<sup>3</sup>.

Для нефти:

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot G1}{3.14 \cdot (\omega1) \cdot \rho1}} = 0.314 \text{ м} \quad (35)$$

Принимаем по [2] 350 мм.

Для входа пара:

$$\omega_2 := 35 \frac{\text{М}}{\text{с}} \quad \rho_2 := 1.107 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{3.14 \cdot (\omega_2) \cdot \rho_2}} = 0.244 \quad (36)$$

Принимаем по [2] 250 мм.

Для выхода конденсата пара:

$$\omega_K := 0.2$$

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{3.14 \cdot (\omega_K) \cdot \rho_2}} = 0.111 \quad (37)$$

Принимаем по [2] 125 мм.

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

### 2.3 Механический расчет кожухотрубчатого теплообменника

Целью механического расчета является обеспечение механической надежности работы кожухотрубчатого теплообменника. Критериями механической надежности для деталей технологического оборудования являются прочность, жесткость, устойчивость, герметичность и др.

На рисунке 2.2 изображена расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника.

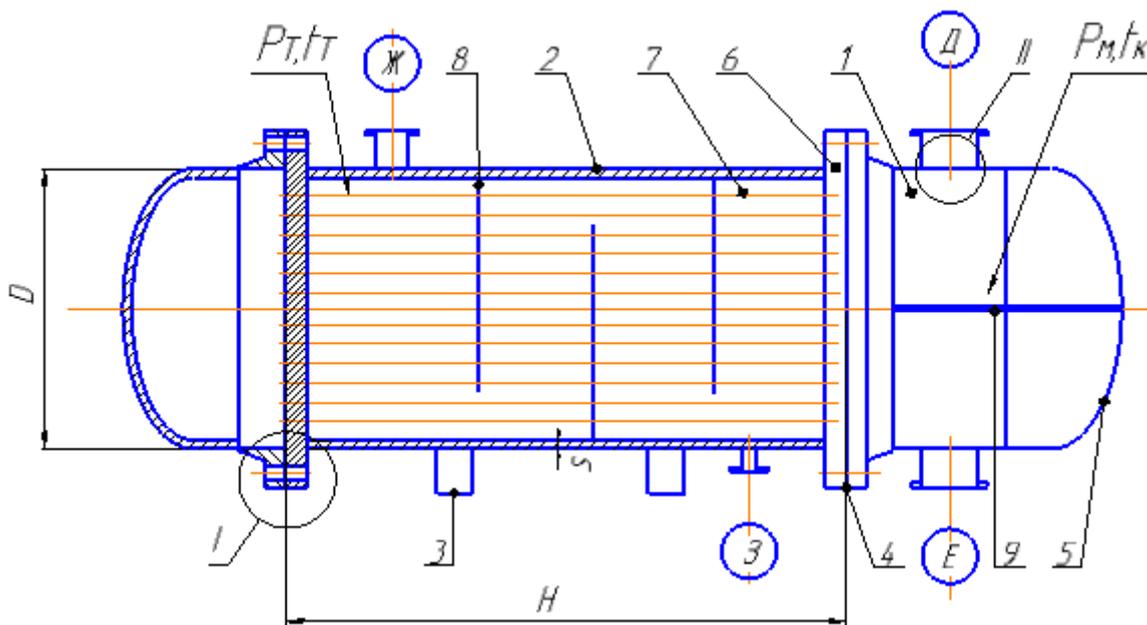


Рисунок 2.2 - Расчетная модель кожухотрубчатого теплообменника

где  $P_M$  - Давление в межтрубном пространстве

$P_T$  - Давление в трубном пространстве

$\rho_c$  - Плотность среды

$t_T$  - Максимальная температура горячего теплоносителя

$t_K$  - Максимальная температура холодного теплоносителя

Номера позиций и названия элементов представлены в таблице 2.3

					<b>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Выполнил	Чернов А.В.				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Тихонов В.В.				Д	28	55
Н. Контр.					ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4К51		
Утверд.					Механический расчет		

Таблица 2.3 - Номера позиций и названия элементов

Номер позиции	Название элемента	Количество
1	Камера распределительная	1
2	Кожух аппарата	1
3	Седловая опора	2
4	Фланец	4
5	Крышка аппарата	2
6	Трубная решетка	2
7	Теплообменная труба	442
8	Поперечная перегородка	8
9	Продольная перегородка	1
I	Фланцевое соединение	-
II	Отверстие под технологический штуцер	4

Данные о штуцерах представлены в таблице 2.4

Таблица 2.4 - Штуцера

Обозначение	Наименование	Условное давление, МПа	Условный диаметр, мм
Ж	Вход греющего пара	0.6	250
З	Выход конденсата греющего пара	0.6	125
Д	Вход сырой нефти	1.0	350
Е	Выход подогретой нефти	1.0	350

### 2.3.1 Выбор конструкционного материала

Выбор определенной исполнительной марки стали обусловлен специфическими условиями работы, и соответственно, необходимость удовлетворения выбранной маркой стали определенных критериев, таких как хладостойкость, совместимость по агрессивности среды, доступность и сравнительная дешевизна. Также выбранная сталь должна обладать достаточными прочностными и пластическими характеристиками в рабочих условиях, допускать холодную и горячую механическую обработку, а также иметь низкую стоимость и высокую распространенность на рынке.

В соответствии с заданными требованиями и согласно рекомендациям [8] в качестве исполнительной марки стали выбираем сталь 16ГС.

Выбранное исполнение по материалу представлено в таблице 2.5

Таблица 2.5 - Исполнение по материалу

Исполнение по материалу	Кожух	Распределительная камера	Теплообменная труба	Трубная решетка
M13	16гс		12x18н10т	

### 2.3.2 Расчет толщины стенки кожуха

Целью расчета является определение толщины стенки цилиндрической обечайки, которая будет обеспечивать прочность конструкции.

Критерием надежности для рабочих условий является выполнение следующего условия:  $P \leq p_1$ ,

где  $P$  - расчетное значение наружного давления при рабочих условиях, МПа;

$p_1$  - допускаемое значение наружного давления при рабочих условиях, МПа.

Критерием надежности для условий испытания является выполнение условия:  $P_{и} \leq p_{1и}$

где  $P_{и}$  - расчетное значение наружного давления при гидроиспытаниях, МПа;

$p_{1и}$  - допускаемое значение наружного давления при гидроиспытаниях, МПа.

Кожух аппарата отмечен на рисунке 2.2 позицией номер 2. Расчетная схема цилиндрической обечайки кожуха представлена на рисунке 2.3

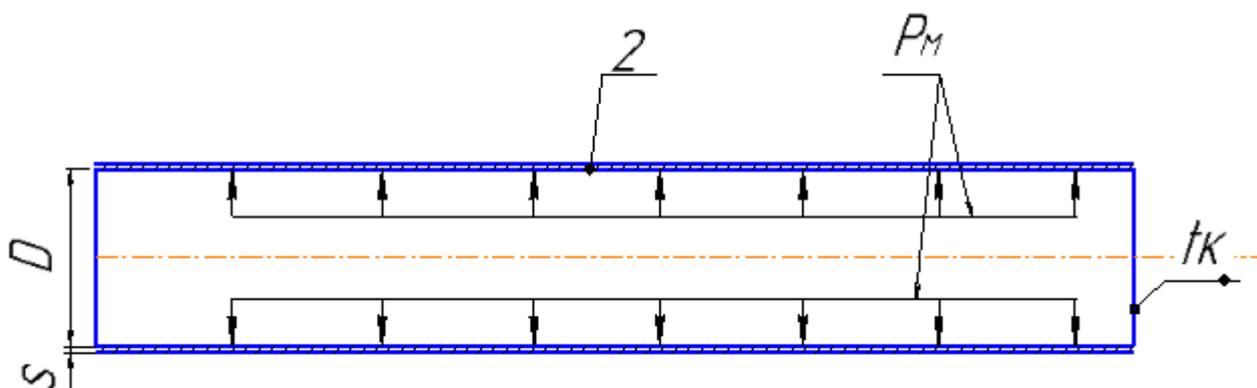


Рисунок 2.3 - Расчетная схема цилиндрической обечайки кожуха

Исходные данные для расчета толщины стенки кожуха представлены в таблице 2.6

Таблица 2.6 - Исходные данные для расчета толщины стенки кожуха

Внутренний диаметр, мм	$D := 800$
Рабочее давление, МПа	$P := 0.2$
Материал обечайки	листовой прокат из стали 16ГС
Скорость коррозии, мм/год	$\Pi := 0.15$
Срок эксплуатации, лет	$\tau := 10$
Максимальная температура горячего теплоносителя, °С	$t_T := 120$
Максимальная температура холодного теплоносителя, °С	$t_K := 85$

Горячий теплоноситель находится в межтрубном пространстве, холодный - в трубном

Примем в качестве расчетной температуры горячего теплоносителя наибольшую температуру среды[3]:

$$t_{\text{ср}} := 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

По [3] допускаемое напряжение  $\sigma$  для стали 16ГС при температуре 120°С принимается равным:

$$\sigma := 174.5 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести при 20 °С для стали 16ГС определим согласно таблице Б.1 [3]

$$R_e := 300 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при температуре 20 °С гидравлического испытания принимаем по [3]

$$\sigma_{\text{И}} := \text{Floor}\left(\frac{R_e}{1.1}, 0.5\right) \quad (38)$$

$$\sigma_{\text{И}} = 272.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС по [3]

при  $t=20 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа}$$

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Так как аппарат изготавливается из листового проката, поправочный коэффициент принимаем в соответствии с рекомендациями [3], п.8.3

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 196 \text{ МПа} \quad (39)$$

Определение коэффициента прочности сварных швов.

Для бесшовных элементов сосудов по [3]:

$$\varphi := 1$$

Давление испытаний:

$$P_{И} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma} = 0.281 \text{ МПа} \quad (40)$$

Прибавка для компенсации коррозии обечайки [8]:

$$c_1 := \tau \cdot \Pi = 1.5 \text{ мм} \quad (41)$$

В соответствии с таблицей 2 [5] примем поправку на минусовое отклонение равной:

$$c_2 := 1.3 \text{ мм}$$

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией [3] примем прибавку на утонение стенки элемента сосуда при технических операциях равной:

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Расчетную прибавку к толщинам вычисляют согласно [3] по формуле 13:

$$c_{\text{вн}} := c_1 + c_2 + c_3 = 3 \text{ мм} \quad (42)$$

Расчетная толщина стенки обечайки по формуле 2 [4]:

$$s_p := \max \left( \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - P}, \frac{P_{И} \cdot D}{1.8 \cdot \sigma_{И} \cdot \varphi - P_{И}} \right) = 0.459 \text{ мм} \quad (43)$$

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок составляет по формуле 1 [4]:

$$s_{\text{вн}} := \text{ceil}(s_p + c) = 4 \text{ мм} \quad (44)$$

Принимаем толщину стенки обечайки равной минимальной толщине стенки аппарата диаметром 800 мм по [2]:

$$s_{\text{вн}} := 6 \text{ мм}$$

Проверка условия прочности выполняется по формуле 3 [4]:

Для рабочих условий:

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

$$p_1 := 2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot \frac{(s - c)}{[D + (s - c)]} = 1.304 \text{ МПа} \quad (45)$$

Для условий испытания:

$$p_{1и} := 1.8 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi \cdot \frac{(s - c)}{[D + (s - c)]} = 1.833 \text{ МПа} \quad (46)$$

$$P \leq p_1$$

$$0.2 \leq 1.304 \text{ МПа}$$

$$P_{и} \leq p_{1и}$$

$$0.281 \leq 1.833 \text{ МПа}$$

условия выполняются

Из расчетов, представленных выше, можно сделать вывод, что при толщине стенки 6 мм обеспечивается прочность кожуха как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

### 2.3.3 Расчет температурных деформаций

Для того, чтобы проверить подходит ли нам теплообменный аппарат с неподвижными трубными решетками, произведем расчет температурных деформаций труб и корпуса.

Расчет ведем по [6]. Схема температурных деформаций труб и корпуса представлена на

рисунке 2.4.

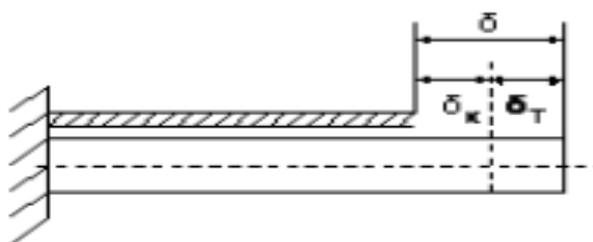


Рисунок 2.4 - Схема температурных деформаций труб и корпуса

Исходные данные для расчета температурных деформаций представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Исходные данные для расчета температурных деформаций

Наименование	Значение
Температурные коэффициенты линейного расширения труб, 1/°С [3]	$\alpha_T := 17 \cdot 10^{-6}$
Температурные коэффициенты линейного расширения корпуса, 1/°С [3]	$\alpha_K := 13.2 \cdot 10^{-6}$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Продолжение таблицы 2.7

Число труб	$n := 442$
Температура труб, °C	$t_{\text{труб}} := 65$
Температура кожуха, °C	$t_{\text{кожуха}} := 120$
Наружный диаметр труб, мм	$d_{\text{н}} := 25$
Внутренний диаметр труб, мм	$d_{\text{вн}} := 21$
Наружный диаметр корпуса, мм	$D_{\text{н}} := 812$
Внутренний диаметр корпуса, мм	$D_{\text{внут}} := 800$
Длина труб, м	$l := 6$

Модули упругости для материала труб (12X18Н10Т) и кожуха (16ГС) при рабочей температуре согласно [3]:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix}$$

$$E_{\text{к}} := \begin{pmatrix} 1.91 \\ 1.86 \end{pmatrix}$$

$$E_{\text{к}} := \text{Ceil}(\text{linterp}(t, E_{\text{к}}, 120), 0.01) = 1.89 \text{ МПа} \quad (47)$$

$$E_{\text{к}} := 1.89 \times 10^5$$

$$E_{\text{т}} := 2.15 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения корпуса и труб при их рабочей температуре по [3]:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{дк}} := \begin{pmatrix} 177 \\ 171 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{дк}} := \text{Ceil}(\text{linterp}(t, \sigma_{\text{дк}}, 120), 0.5) = 175 \text{ МПа} \quad (48)$$

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

$$\sigma_{\text{дт}} := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{дт}} := \text{Ceil}(\text{linterp}(t, \sigma_{\text{дт}}, 65), 0.5) = 178.5 \text{ МПа} \quad (49)$$

Площади поперечного сечения труб и корпуса:

$$F_{\text{т}} := n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left[ (d_{\text{н}} \cdot 10^{-3})^2 - (d_{\text{вн}} \cdot 10^{-3})^2 \right] = 0.064 \text{ м}^2 \quad (50)$$

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot \left[ (D_H \cdot 10^{-3})^2 - (D_{ВНУТ} \cdot 10^{-3})^2 \right] = 0.015 \text{ м}^2 \quad (51)$$

Определяем температурное усилие:

$$Q_t := \left| \frac{(\alpha_K \cdot t_K - \alpha_T \cdot t_T) \cdot E_T \cdot E_K \cdot F_T \cdot F_K}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} \right| = 1.138 \text{ МН} \quad (52)$$

Определим температурные напряжения, которые испытывают корпус и трубы:

$$\sigma_T := \frac{Q_t}{F_T} = 17.809 \text{ МПа} \quad (53)$$

$$\sigma_K := \frac{Q_t}{F_K} = 74.875 \text{ МПа} \quad (54)$$

Так как расчетные напряжения не превышают допусковых, можно использовать теплообменник типа ТН.

### 2.3.4 Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки

Исходя из рекомендаций [17] примем крышку для теплообменного аппарата эллиптическую. Эллиптическая крышка изображена на рисунке 2.2 под номером 5. Расчетная схема крышка изображена на рисунке 2.5. Исходные данные для расчета стенки стандартной эллиптической крышки представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Исходные данные для расчета толщины стенки кожуха

Длина цилиндрической обечайки, мм	$H := 6000$
Внутренний диаметр, мм	$D := 800$
Рабочее давление, МПа	$P := 0.2$

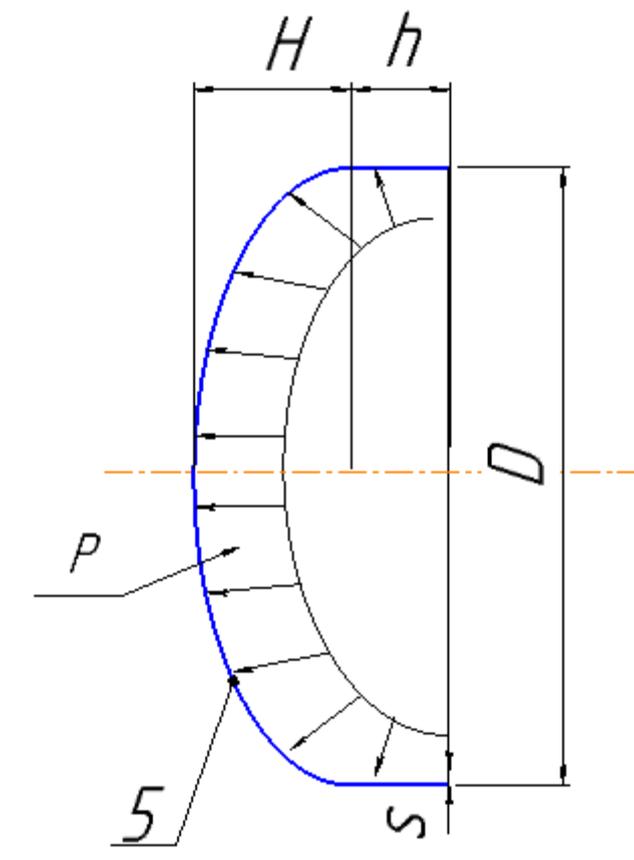


Рисунок 2.5 - Расчетная схема эллиптической крышки

Цель расчета толщины эллиптической крышки такая же, как и у расчета кожуха: определение минимальной толщины, которое выдержит крышка в рабочих условиях и условиях испытания.

Глубина крышки по табл 2 [4]

$$H := 0.25 \cdot D = 200 \text{ мм} \quad (55)$$

Радиус кривизны стандартной эллиптической крышки по формуле 45 [4]:

$$\begin{aligned} R &:= D \\ R &= 800 \text{ мм} \end{aligned}$$

Давление в крышке составляет:

$$P := 0.6 \text{ МПа}$$

Расчетная толщина стенки эллиптической крышки с внутренним диаметром равным

$$D := 800 \text{ мм}$$

$$s_{1p} := \max \left[ \frac{P \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma - 0.5 \cdot (P)}, \frac{P_{II} \cdot R}{1.8 \cdot \varphi \cdot \sigma_{II} - 0.5 \cdot P_{II}} \right] = 1.377 \text{ мм} \quad (56)$$

Исполнительная толщина стенки эллиптической крышки с учетом суммы прибавок

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

составляет по формуле 42 [4] :

$$s_1 := \text{ceil}(s_{1p} + c) = 5 \text{ мм} \quad (57)$$

Принимаем

$$s_{1\text{мм}} := 6 \text{ мм}$$

### 2.3.4.1 Проверка условия прочности

Проверка условия прочности для рабочих условий и условий испытания выполняется по формуле 44 [4]:

$$p_d := \frac{2 \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi \cdot \sigma}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 1.306 \text{ МПа} \quad (58)$$

$$0.6 \text{ МПа} < 1.306 \text{ МПа}$$

$$P < p_d$$

условие прочности для рабочих условий выполняются

$$p_{\text{ди}} := \frac{1.8 \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{и}}}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 1.836 \text{ МПа} \quad (59)$$

$$0.6 \text{ МПа} < 1.836 \text{ МПа}$$

$$P < p_{\text{ди}}$$

условие прочности для условия испытания выполняются

Принимаем по табл.2 [4] 2 эллиптические крышки типа

Крышка 800-6-200-ГОСТ 6533-78

.При толщине стенки 6 мм обеспечивается прочность и устойчивость крышки, как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

### 2.3.5 Расчет толщины стенки распределительной камеры

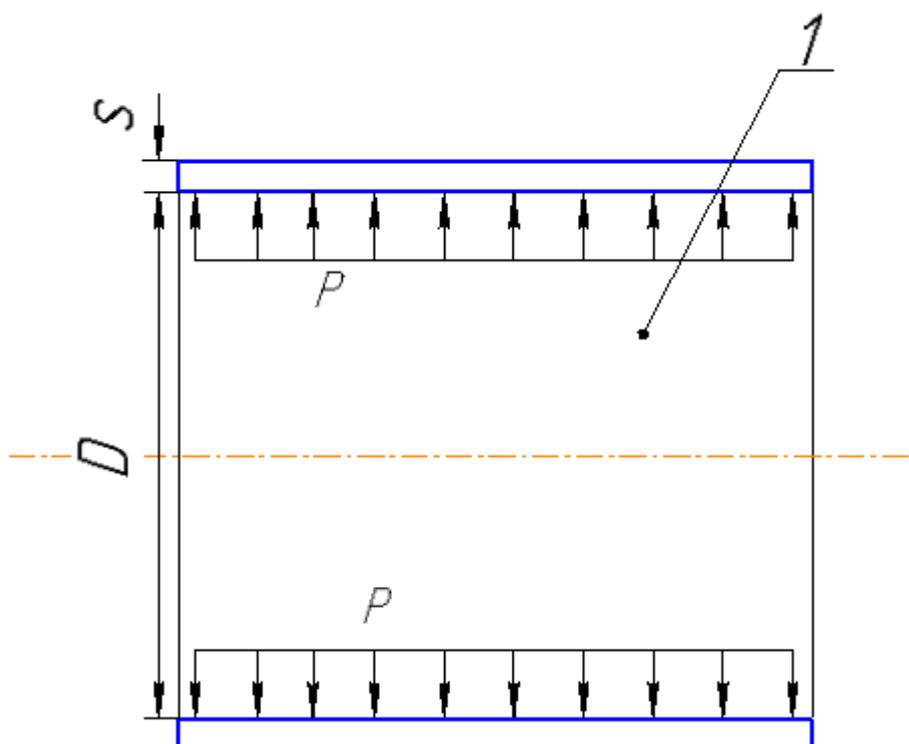


Рисунок 2.6 – Расчетная схема распределительной камеры

Распределительная камера, как и кожух – цилиндрическая обечайка, поэтому методика расчета остается прежней.

Обечайка камеры изготавливается так же из листового проката. Так как распределительная камера представляет собой цилиндрическую обечайку, то расчет ее толщины стенки ведем аналогично по формулам, как и для кожуха.

Давление в распределительной камере составляет:

$$P := 0.6 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{и.р.к}} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{\text{д20}}}{\sigma} = 0.842 \text{ МПа} \quad (60)$$

Расчетная толщина стенки вычисляется по формуле:

$$s_{\text{р.к}} := \max \left( \frac{P \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma - 0.5 \cdot P}, \frac{P_{\text{и.р.к}} \cdot R}{1.8 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{и}} - 0.5 \cdot P_{\text{и.р.к}}} \right) = 1.377 \text{ мм} \quad (61)$$

Исполнительная толщина стенки распределительной камеры с учетом суммы прибавок составляет по формуле :

$$s_{\text{к}} := \text{ceil}(s_{\text{р.к}} + c) = 5 \text{ мм} \quad (62)$$

Принимаем

$$s_{\text{к}} := 6 \text{ мм}$$

### 2.3.5.1 Проверка условия прочности

Проверка условия прочности для рабочих условий и условий испытания выполняется по формуле:

$$p_{\text{дв}} := \frac{2 \cdot (s_K - c) \cdot \varphi \cdot \sigma}{R + 0.5 \cdot (s_K - c)} = 1.306 \text{ МПа} \quad (63)$$

$$0.6 \text{ МПа} < 1.306 \text{ МПа}$$

$$P < p_{\text{д}}$$

условия прочности выполняются

$$p_{\text{ди}} := \frac{1.8 \cdot (s_K - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{И}}}{R + 0.5 \cdot (s_K - c)} = 1.836 \text{ МПа} \quad (64)$$

$$0.6 \text{ МПа} < 1.836 \text{ МПа}$$

$$P < p_{\text{ди}}$$

условия прочности выполняются

При толщине стенки 6 мм обеспечивается прочность распределительной камеры как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

### 2.3.6 Проверка необходимости укрепления отверстий в обечайке

В кожухотрубном теплообменнике имеются четыре отверстия под технологические штуцера. Расчет укрепления производится по принципу компенсации изъятого отверстием металла.

Цель расчета укрепления отверстий заключается в определении предельного диаметра неукрепленного отверстия и сравнении его с расчетным диаметром отверстия. Если расчетный диаметр превышает предельный диаметр, то данное отверстия подлежит укреплению в целях компенсации возникающий напряжений в зоне отверстия. Проверку необходимости укрепления следует производить по самому большому отверстию, в связи с этим проведем проверку на укрепление отверстия под штуцер для подвода сырой нефти с диаметром 350 мм, которое обозначено на рисунке 2.1 позицией II. На рисунке 2.7 представлена расчетная схема укрепления отверстия.

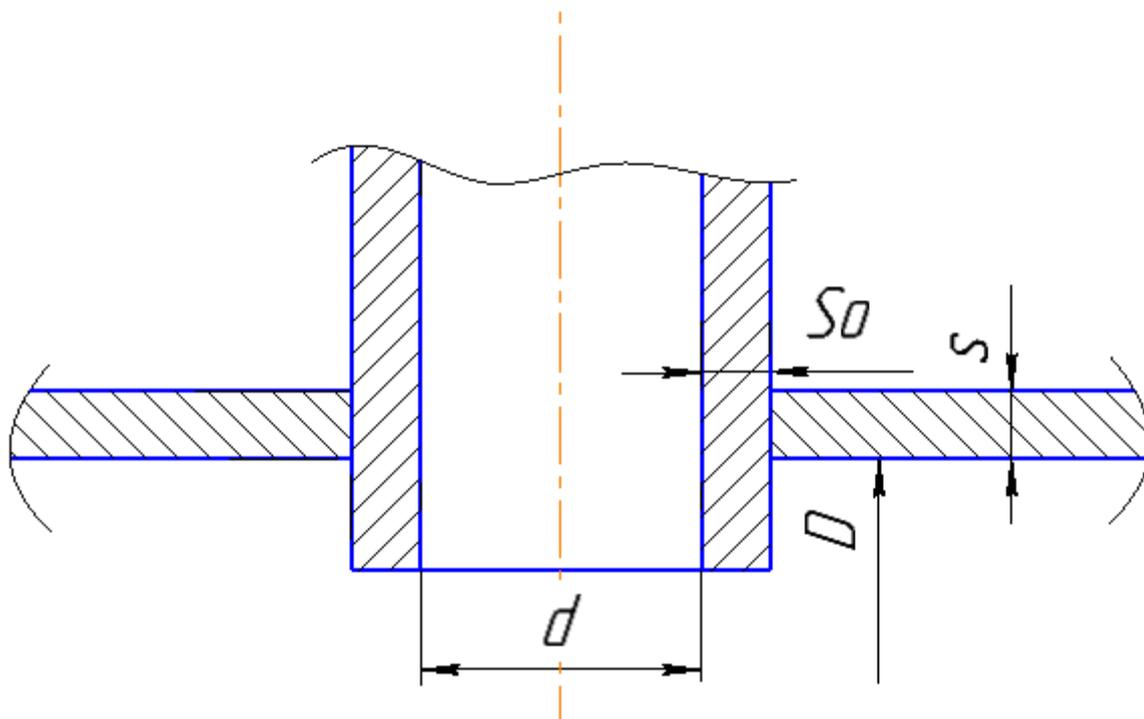


Рисунок 2.7 - Расчетная схема укрепления отверстия

Исходные данные для проверки необходимости укрепления отверстий представлены в таблице 2.9

Таблица 2.9 - Исходные данные для проверки необходимости укрепления отверстий

Внутренний диаметр аппарата, мм	$D := 800$
Марка стали	16ГС
Внутреннее расчетное давление, МПа	$P := 0.6$
Исполнительная толщина стенки обечайки, мм	$s := 6$
Расчетная толщина стенки распределительной камеры, мм	$s_{p.k} = 1.377$
Диаметр отверстия, мм	$d := 350$
Прибавка к расчетной толщине стенки, мм	$c := 2$
Коэффициент прочности сварных швов	$\phi := 1$
Допускаемое напряжение в рабочем состоянии, МПа	$\sigma_D := 174.5$
Допускаемое напряжение при 20 °С, МПа	$\sigma_{20} := 196$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

### 2.3.6.1 Расчет параметров цилиндрической оболочки и штуцера

Расчетный диаметр аппарата вычисляется по формуле 3 [14]:

$$D_p := D = 800 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия вычисляется по формуле 8 [14]:

$$d_p := d + 2 \cdot c = 354 \text{ мм} \quad (65)$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

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

пров1 = "Условия применения формул выполняются"

Расчетная толщина стенки штуцера по формуле 16 [14]:

$$s_{p.ш} := \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P} = 0.61 \text{ мм} \quad (66)$$

Исполнительная толщина стенки штуцера

$$s_o := \text{ceil}(s_{p.ш} + c) = 3 \text{ мм} \quad (67)$$

Принимаем

$$s_{o.ш} := 3 \text{ мм}$$

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

Ширина зоны укрепления в переходах и днищах вычисляется по формуле 19 [14]:

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 56.569 \text{ мм} \quad (68)$$

Отношения допускаемых напряжений по [14] стр 9:

для внешней части штуцера

$$\sigma_{d1} := \sigma_d$$
$$\chi_1 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d} \right) \quad (69)$$
$$\chi_1 = 1$$

### 2.3.6.2 Укрепление отверстия штуцером:

Расчетная длина штуцера по формуле 17 [14]:

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

$$l_{1p} := \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} = 37.63 \text{ мм} \quad (70)$$

Принимаем

$$l_1 := 38 \text{ мм}$$

### 2.3.6.3 Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления при отсутствии избыточной толщины стенки сосуда и при наличии штуцера

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления в стенке цилиндрической обечайки при отсутствии избыточной толщины стенки сосуда и при наличии штуцера, вычисляются по

формуле 24 [14]:

$$d_{o,p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 22.627 \text{ мм} \quad (71)$$

Наибольший допустимый диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда по формуле 26 [14]:

$$d_0 := \min \left[ \left[ 2 \cdot \left[ \left( \frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \right], (D + 2 \cdot c) \right] = 804 \text{ мм} \quad (72)$$

### 2.3.6.4 Проверка условий расчета укреплений отверстий по формуле 30

[14]:

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

пров3 = "НЕ требуется укрепление отверстий"

В результате проектного расчёта необходимости укрепления отверстия цилиндрической оболочки, нагруженной внутренним давлением, выяснено, что исполнительных толщин штуцера и укрепляемой оболочки вполне хватает, чтобы компенсировать возникшие напряжения в зоне отверстия. Нет необходимости укреплять отверстия.

### 2.3.7 Расчет фланцевого соединения

Целью расчета фланцевого соединения является подбором такого типа фланца и прокладки, при которых выполняются условия герметичности фланцевого соединения и прочность в рабочих условиях и в условиях испытания. В качестве критериев надежности выступают прочность и герметичность.

Фланец изображен на рисунке 2.2 под номером 4, фланцевое соединение обозначено I.

Расчетная схема фланца изображена на рисунке 2.8

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

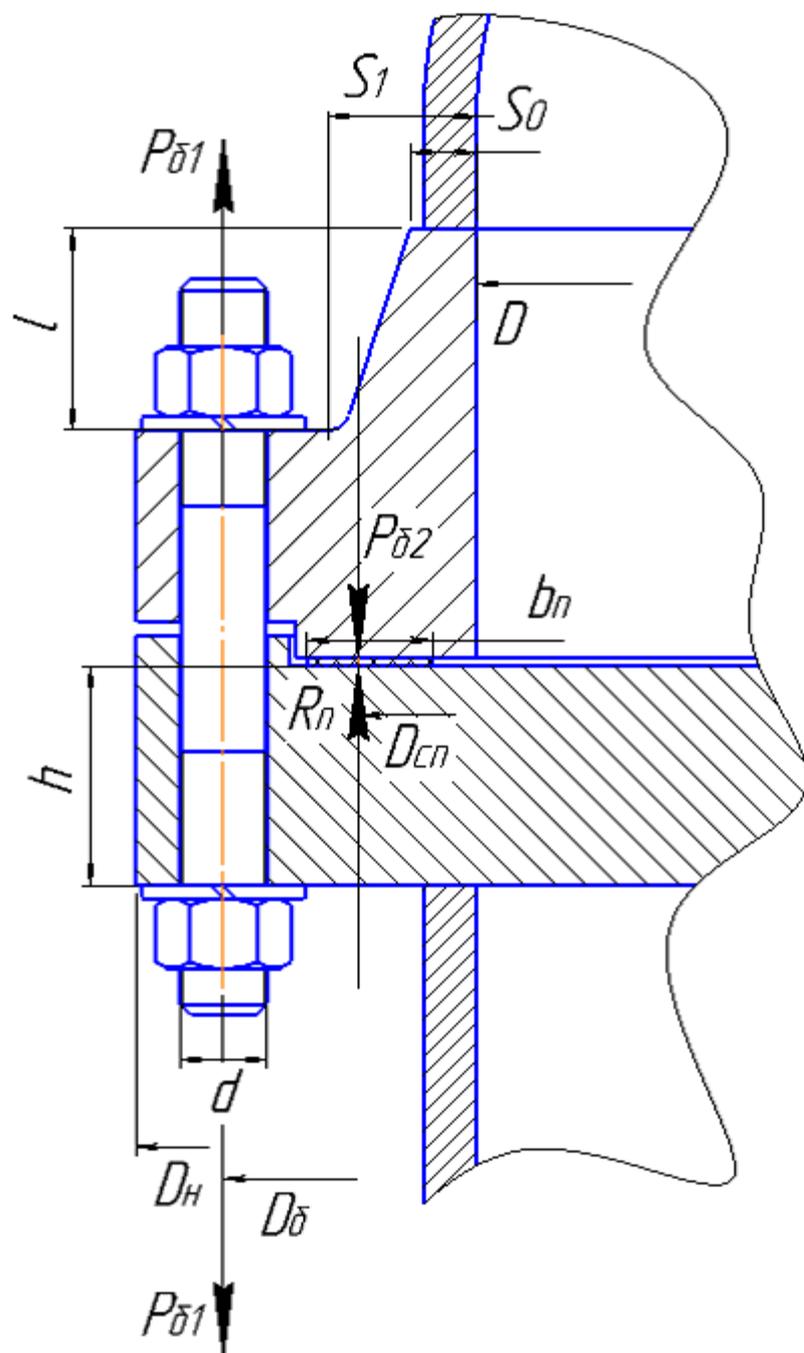


Рисунок 2.8 - Расчетная схема фланцевого соединения

Исходные данные для расчета фланцевого соединения представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 - Исходные данные для расчета фланцевого соединения

Внутренний диаметр аппарата, мм	$\underline{D} := 800$
Рабочее давление, МПа	$\underline{P} := 0.6$
Число шпилек	$\underline{n} := 36$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Продолжение таблицы 2.10

Сумма прибавок, мм	$c_o := 2$
Расчетная температура, °C	$t_{\text{р}} := 120$
Внешний изгибающий момент, Н*мм	$M := 0$
Внешняя осевая сила, Н	$F_{\text{в}} := 0$

Для условных давлений среды 0.6 МПа и в связи с взрывоопасностью среды согласно прил. А [16] рекомендуется применять фланцы с уплотнительной поверхностью типа выступ-впадина

Принимаем фланец типа 3 по табл.21.12 [8] с характеристиками, представленными в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Характеристики фланца

Наружный диаметр, мм	$D_H := 945$
Диаметр болтовой окружности, мм	$D_{\text{б}} := 905$
Диаметр шпильки, мм	$d_{\text{ш}} := 20$
Толщина фланца, мм	$h := 35$
Меньшая толщина конической втулки, мм	$S_0 := 12$
Большая толщина конической втулки, мм	$S_1 := 27$
Длина конической втулки приварного встык фланца, мм	$l_{\text{в}} := 55$

Выбираем прокладку типа Б по табл.4 [13] с характеристиками, представленными в таблице 2.12

Таблица 2.12 – Характеристики прокладки

Наружный диаметр прокладки, мм	$D_{\text{нп}} := 867$
Ширина прокладки, мм	$b_{\text{п}} := 24$
Толщина прокладки, мм	$h_{\text{п}} := 2$

Согласно рекомендациям по табл.21.14 [8] :

Материал обечаек и фланцев - сталь 16ГС

Материал шпилек - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

### 2.3.7.1 Основные расчетные значения

Расчетные температуры

- расчетная температура неизолированных приварных встык фланцев по табл. В1 [16]

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t \quad (73)$$

$$t_{\phi} = 115.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- расчетная температура шпилек по табл. В1 [16]

$$t_{\sigma} := 0.85 \cdot t \quad (74)$$

$$t_{\sigma} = 102 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 35Х по табл Г1 [16]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д.}\sigma} := \text{linterp}(t, \sigma, t_{\sigma})$$

$$\sigma_{\text{д.}\sigma} = 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек из стали 35Х при расчетной температуре по табл Ж1 [16]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}$$

$$E_{\sigma} := \begin{pmatrix} 2.15 \cdot 10^5 \\ 2.08 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_{\sigma} := \text{linterp}(t, E_{\sigma}, t_{\sigma})$$

$$E_{\sigma} = 2.149 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для шпилек при  $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по табл Г [16]

$$\sigma_{20\sigma} := 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при температуре испытания  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по табл Ж1 [16]

$$E_{20\sigma} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 35Х при  $t = 20\text{-}200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по табл Ж2 [16]

$$\alpha_{\sigma} := 13.3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 16ГС по [16]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix}$$
$$\sigma := \begin{pmatrix} 177 \\ 171 \end{pmatrix}$$
$$\sigma := \text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi})$$
$$\sigma = 175.176 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$
$$\sigma_{\text{д.ф}} := \eta \cdot \sigma \quad (75)$$
$$\sigma_{\text{д.ф}} = 175.176 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 16ГС при расчетной температуре по [16]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix}$$
$$E := \begin{pmatrix} 1.91 \cdot 10^5 \\ 1.86 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$
$$E := \text{linterp}(t, E, t_{\phi})$$
$$E = 1.895 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 16ГС при  $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по [3]

$$\sigma_{20} := 196 \text{ МПа}$$
$$\sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad (76)$$
$$\sigma_{\text{д}20} = 196 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 16ГС при температуре испытания  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по [3]

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 16ГС при  $t = 20 - 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по [3]

$$\alpha_{\phi} := 12.6 \cdot 10^{-6} / \text{K}$$

Номинальное допускаемое напряжение для шпилек из стали 35Х при  $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по табл Г1 [16]

$$\sigma_{\text{дбн}} := \sigma_{20\sigma} = 230 \text{ МПа}$$

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 35Х при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам Г3 и Г4 [16] :

$$\xi := 1.2$$

Коэффициент условий работы:

- для рабочих условий

$$K_{y.p.p} := 1$$

- для условий испытания

$$K_{y.p.и} := 1.35$$

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{y.z} := 1$$

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций

$$K_{y.T} := 1.3$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 35Х при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам Г3 и Г4 [16]:

$$\sigma_{дбм} := \xi \cdot K_{y.p.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.T} \cdot \sigma_{дбн} = 358.8 \text{ МПа} \quad (77)$$

$$\sigma_{дбр} := \xi \cdot K_{y.p.и} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.T} \cdot \sigma_{дбн} = 484.38 \text{ МПа} \quad (78)$$

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

Эффективная ширина плоской прокладки по формуле 5 [16]

$$b_0 := 3.8 \cdot \sqrt{b_{п}} = 18.616 \text{ мм} \quad (79)$$

Расчетный диаметр плоской прокладки по формуле 7 [16]

$$D_{сп} := D_{нп} - b_0 = 848.384 \text{ мм} \quad (80)$$

Характеристики прокладки по таблице И1 [16] представлены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Характеристики прокладки из паронита

Прокладочный коэффициент	$m := 2.5$
Удельное давление обжатия прокладки, МПа	$q_{обж} := 20$

Продолжение таблицы 2.13

Допускаемое удельное давление, МПа	$q_d := 130$
Коэффициент обжатия прокладки	$K_{обж} := 0.9$
Условный модуль сжатия прокладки, МПа	$E_{П} := 0.02 \cdot 10^5$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле 8 [16]

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 4.962 \times 10^5 \text{ Н} \quad (81)$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения по формуле 9 [16]

$$R_{П} := \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P = 7.443 \times 10^4 \text{ Н} \quad (82)$$

### 2.3.7.3 Усилия в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях

Площадь поперечного сечений шпилек для М20 по прил.Д [16]

$$f_{\sigma} := 225 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра по формуле 10 [16]

$$A_{\sigma} := n \cdot f_{\sigma} = 8.1 \times 10^3 \text{ мм}^2 \quad (83)$$

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле 11 [16]

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot D_{сп}^2 \cdot P = 3.392 \times 10^5 \text{ Н} \quad (84)$$

### 2.3.7.4 Податливость прокладки и шпилек

Податливость прокладки по формуле К.1 [16]

$$y_{П} := \frac{h_{П} \cdot K_{обж}}{E_{П} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{П}} = 1.407 \times 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (85)$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек принимаем

$$L_{\sigma 0} := 110 \text{ мм}$$

Эффективная длина шпильки при определении податливости по стр.32 [16]

$$L_{\sigma} := L_{\sigma 0} + 0.56 \cdot d = 121.2 \text{ мм} \quad (86)$$

Податливость болтов по формуле К.2 [16]

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 6.96 \times 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (87)$$

### 2.3.7.5 Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

- параметр длины обечайки по формуле К.3 [16]

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 97.98 \text{ мм} \quad (88)$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру по формуле К.4 [16]

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.181 \quad (89)$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца по формулам К.5 - К.8 [16]

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.845 \quad (90)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 12.913 \quad (91)$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 11.865 \quad (92)$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 6.059 \quad (93)$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами по графикам К2-К4 [16]

$$\beta_F := 0.67$$

$$\beta_V := 0.12$$

$$f := 1.2$$

$$\beta := \frac{S_1}{S_0} = 2.25 \quad (94)$$

$$x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0.561 \quad (95)$$

- коэффициент  $\lambda$  по формуле К.11 [16]

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 0.7 \quad (96)$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле К.12 [16]

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 5.555 \times 10^{-11} \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}} \quad (97)$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками по формуле К.18 [16]

$$C_F := \max \left( 1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right) = 1 \quad (98)$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца по формуле К.19 [16] при

$$D \geq 20 \cdot S_1 \quad (99)$$

$$D_{\text{пр}} := D$$

### 2.3.7.6 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.1 [16]

$$b := 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = 28.308 \text{ мм} \quad (100)$$

Коэффициент  $\zeta$  находим по формуле Е.6 [16]

$$\zeta := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.511 \quad (101)$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев по формуле Е.5 [16]

$$S_3 := \zeta \cdot S_0 \text{ мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев по формуле Е.4 [16]

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_3) = 15.127 \text{ мм} \quad (102)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.8 [16]

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{II}} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_\Phi \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 5.643 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (103)$$

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык фланцев с плоскими прокладками по формуле E.11 [16]

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\Phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\sigma} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi}} = 1.194 \quad (104)$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами по формуле 13 [16]

$$Q_{\text{тв}} := \gamma \cdot [2\alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2\alpha_{\sigma} \cdot h \cdot (t_{\sigma} - 20)] = 4.302 \times 10^4 \text{ Н} \quad (105)$$

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

$$P_{\sigma 1} := \max \left[ \begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\Pi} \\ \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\Pi} - Q_{\text{т}} \end{array} \right] = 4.794 \times 10^5 \text{ Н} \quad (106)$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения шпилек

$$P_{\sigma 2} := \max [ (P_{\text{обж}}), 0.4 \cdot A_{\sigma} \cdot \sigma_{20\sigma} ] = 7.452 \times 10^5 \text{ Н} \quad (107)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле 17 [16]

$$P_{\sigma \text{м}} := \max (P_{\sigma 1}, P_{\sigma 2}) = 7.452 \times 10^5 \text{ Н} \quad (108)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях по формуле 18 [16]

$$P_{\sigma \text{р}} := P_{\sigma \text{м}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}} = 7.224 \times 10^5 \text{ Н} \quad (109)$$

### 2.3.7.7 Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения в шпильках

- при затяжке по формуле 19 [16]

$$\sigma_{\sigma 1} := \frac{P_{\sigma \text{м}}}{A_{\sigma}} = 92 \text{ МПа} \quad (110)$$

- в рабочих условиях по формуле 20 [16]

$$\sigma_{\sigma 2} := \frac{P_{\sigma \text{р}}}{A_{\sigma}} = 89.187 \text{ МПа} \quad (111)$$

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Проверка условий прочности шпилек при затяжке и в рабочих условиях по формулам 21,22 [16]

$$Usl\_1 := \begin{cases} \text{"Условия при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\delta 1} > \sigma_{\delta бм} \\ \text{"Условия в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\delta 2} > \sigma_{\delta бр} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_1 = "Условия прочности выполняются"**

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{\delta м}, P_{\delta р})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 11.65 \text{ МПа} \quad (112)$$

Условие прочности прокладки

$$Usl\_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Usl\_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"**

### 2.3.7.8 Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец или плоский фланец при затяжке по формуле 24 [16]

$$M_M := C_F \cdot P_{\delta м} \cdot b = 2.11 \times 10^7 \text{ Н*мм} \quad (113)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях по формуле 26 [16]

$$M_p := C_F \cdot \max[P_{\delta р} \cdot b + (Q_d) \cdot e, |Q_d| \cdot e] = 2.558 \times 10^7 \text{ Н*мм} \quad (114)$$

### 2.3.7.9 Расчетные напряжения во фланце при затяжке

- меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца по формулам 28,29 [16]

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} = 60.262 \text{ МПа} \quad (115)$$

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_0$

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M} \cdot f = 72.314 \text{ МПа} \quad (116)$$

- напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки по формулам 31,32 [16]

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RМ} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 40.533 \text{ МПа} \quad (117)$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{ТМ} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RМ} = 9.813 \text{ МПа} \quad (118)$$

### 2.3.7.10 Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$  по формуле 34 [16]

$$\sigma_{1p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 73.076 \text{ МПа} \quad (119)$$

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_0$  по формуле 35 [16]

$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} \cdot f = 87.692 \text{ МПа} \quad (120)$$

- меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца по формулам 37,38 [16]

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$

$$\sigma_{P1ММ} := \max \left[ \frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_1) \cdot (S_1 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_1) \cdot (S_1 - c_o)} \right] = 5.222 \text{ МПа} \quad (121)$$

для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_0$

$$\sigma_{P0ММ} := \max \left[ \frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)} \right] = 13.296 \text{ МПа} \quad (122)$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца в сечении  $S_0$  вычисляют по формуле 39 [16]

$$\sigma_{Pомо} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c_o)} = 24 \text{ МПа} \quad (123)$$

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

					Лист
					53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ

- радиальное напряжение по формуле 40 [16]

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 49.152 \text{ МПа} \quad (124)$$

- окружное напряжение по формуле 41 [16]

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 11.9 \text{ МПа} \quad (125)$$

### 2.3.7.11 Проверка условий статической прочности фланцев

Расчет производится по формулам 43 - 46 [16]

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций.

$$K_T := 1.3$$

Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений и допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений рассчитываем в соответствии с п.8.10 [3]

$$\sigma_{д.м} := 1.5 \cdot \sigma = 262.764 \text{ МПа} \quad (126)$$

$$\sigma_{д.R} := 3 \cdot \sigma = 525.528 \text{ МПа} \quad (127)$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{Pmax} := \max \left( \left( \begin{array}{l} |\sigma_{1p} - \sigma_{P1mm} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{1p} - \sigma_{P1mm} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{1p} + \sigma_{P1mm}| \end{array} \right) \right) \quad (128)$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении  $S_1$

$$Us1\_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Us1\_1 = "Условия прочности выполняются"**

- при затяжке

$$\sigma_{3max} := \max \left( \left| \sigma_{1M} + \sigma_{RM} \right|, \left| \sigma_{1M} + \sigma_{TM} \right| \right) \quad (129)$$

Проверка условий прочности при затяжке в сечении  $S_1$

$$Us1\_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{3max} \leq K_T \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Us1\_1 = "Условия прочности выполняются"**

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_0$

- в рабочих условиях

$$\begin{aligned} Y &:= |\sigma_{0p} - \sigma_{P0MM}| \\ I &:= |\sigma_{0p} + \sigma_{P0MM}| \\ e &:= |0.3 \cdot \sigma_{0p} - \sigma_{P0MO}| \\ U &:= |0.3 \cdot \sigma_{0p} + \sigma_{P0MO}| \\ J &:= |0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0MO})| \\ Z &:= |0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0MO})| \\ \sigma_{Pmax.3} &:= \max(Y, I, e, U, J, Z) = 100.988 \end{aligned} \quad (130)$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении  $S_0$

$$\begin{aligned} \underline{Usl\_1} &:= \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax.3} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.Р} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \\ \underline{Usl\_1} &= \text{"Условия прочности выполняются"} \end{aligned}$$

- при затяжке

Проверка условий прочности при затяжке в сечении  $S_0$

$$\begin{aligned} \underline{Usl\_1} &:= \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.Р} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \\ \underline{Usl\_1} &= \text{"Условия прочности выполняются"} \end{aligned}$$

Для фланцев всех типов в сечении  $S_0$  должно выполняться условие по формуле 53

[16]

Проверка условий для фланцев всех типов в сечении  $S_0$

$$\begin{aligned} \underline{Usl\_1} &:= \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{P0MO}|, |\sigma_{P0MM}|) \leq \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \\ \underline{Usl\_1} &= \text{"Условия прочности выполняются"} \end{aligned}$$

Для тарелок приварных встык фланцев должны выполняться условия:

- при затяжке по формуле 54 [16]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев при затяжке

$$\begin{aligned} \underline{Usl\_1} &:= \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{RM}|, |\sigma_{TM}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned}$$

Usl\_1 = "Условия прочности выполняются"

- в рабочих условиях по формуле 55 [16]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев в рабочих условиях

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{Rp}|, |\sigma_{Tp}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl\_1 = "Условия прочности выполняются"

### 2.3.7.12 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца по формуле 58 [16]

$$\Theta := M_p \cdot u_\Phi \cdot \frac{E_{20}}{E} = 1.492 \times 10^{-3} \text{ рад} \quad (131)$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца

$$D := \begin{pmatrix} 400 \\ 2000 \end{pmatrix}$$

$$\Theta_D := \begin{pmatrix} 0.006 \\ 0.013 \end{pmatrix}$$

$$\Theta_D := \text{linterp}(D, \Theta_D, 800) \quad (132)$$

$$\Theta_D = 7.75 \times 10^{-3} \text{ рад}$$

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

Usl\_P = "Условие поворота фланца выполняется"

### 2.3.7.13 Расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичных элементов фланцевого соединения, приведенного в [8], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [11] не проводится.

- произведена проверка условий прочности шпилек при затяжке и в рабочих условиях соответственно

$$\sigma_{\sigma 1} < \sigma_{\text{дбм}} (92 < 358.8 \text{ МПа})$$

$$\sigma_{\sigma 2} < \sigma_{\text{дбр}} (89.187 < 484.38 \text{ МПа})$$

					Лист
					56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ

- произведена проверка условий прочности прокладки

$$q < q_d (11.65 < 130 \text{ МПа})$$

- произведена проверка условий прочности в рабочих условиях и при затяжке в сечении  $S_1$  соответственно

$$\sigma_{P_{\max}} \leq 1.3 \cdot \sigma_{d.M} (117.006 \leq 341.593 \text{ МПа}) \quad (133)$$

$$\sigma_{3_{\max}} \leq K_T \cdot \sigma_{d.M} (100.794 \leq 341.593 \text{ МПа}) \quad (134)$$

- произведена проверка условий прочности в рабочих условиях при затяжке в сечении  $S_0$  соответственно

$$\sigma_{P_{\max 3}} \leq 1.3 \cdot \sigma_{d.R} (100.988 \leq 683.186 \text{ МПа}) \quad (135)$$

$$\sigma_{0M} \leq 1.3 \cdot \sigma_{d.R} (72.314 \leq 683.186 \text{ МПа}) \quad (136)$$

- произведена проверка условий для фланцев всех типов в сечении  $S_0$

$$\max(|\sigma_{P_{0MO}}|, |\sigma_{P_{0MM}}|) \leq \sigma (18.462 \leq 175.76 \text{ МПа})$$

- произведена проверка условий для тарелок приварных встык фланцев при затяжке и в рабочих условиях соответственно

$$\max(|\sigma_{RM}|, |\sigma_{TM}|) \leq K_T \cdot \sigma (24 \leq 227.729 \text{ МПа})$$

$$\max(|\sigma_{Rp}|, |\sigma_{Tp}|) \leq K_T \cdot \sigma (49.152 \leq 227.729 \text{ МПа})$$

- произведена проверка условий поворота фланца

$$\theta < 1.3 \cdot \theta_d (1.492 \times 10^{-3} < 0.01 \text{ рад}) \quad (137)$$

### 2.3.8 Поверочный расчет кожухотрубчатого теплообменника

Целью поверочного расчета является обеспечение механической надежности работы теплообменного аппарата. Схема основного типа кожухотрубчатого теплообменника с неподвижными трубными решетками представлена на рисунке 2.9.

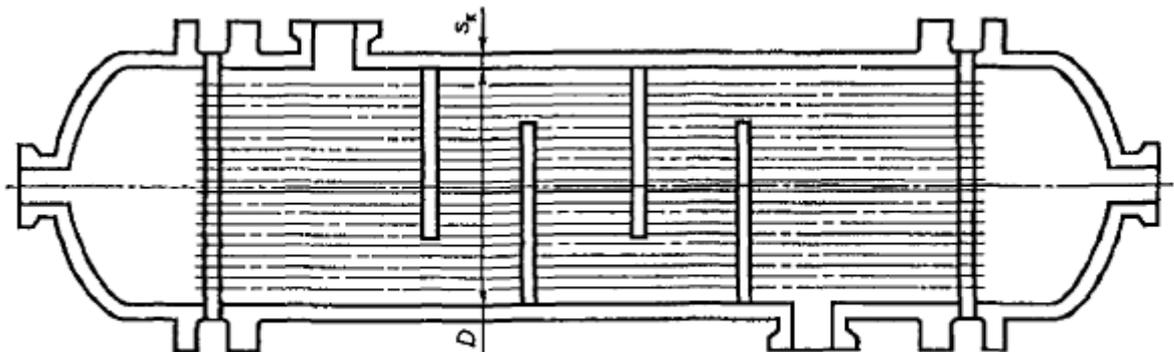


Рисунок 2.9 - Схема аппарата с неподвижными трубными решетками

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

Исходные данные для поверочного расчета представлены в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Исходные данные для поверочного расчета

Внутренний диаметр аппарата, мм	$D := 800$
Толщина стенки кожуха, мм	$s := 6$
Сумма прибавок, мм	$c := 2$
Коэффициент линейного расширения материала кожуха при температуре $t_K, \frac{1}{^\circ\text{C}}$ [3]	$\alpha_K := 13.2 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент линейного расширения материала труб при температуре $t_T, \frac{1}{^\circ\text{C}}$ [3]	$\alpha_T := 17 \cdot 10^{-6}$
Максимальная температура стенки кожуха, $^\circ\text{C}$	$t_{Kw} := 120$
Максимальная температура стенки труб, $^\circ\text{C}$	$t_T := 65$
Давление в трубном пространстве, МПа	$p_T := 0.6$
Давление в межтрубном пространстве, МПа	$p_M := 0.2$
Температура сборки аппарата, $^\circ\text{C}$	$t_0 := 20$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ

Лист

58

### 2.3.8.1 Расчет вспомогательных величин

Определение количества трубок основывается на расположении их по вершинам правильного шестиугольника. Схема расположения труб представлена на рисунке 2.10.

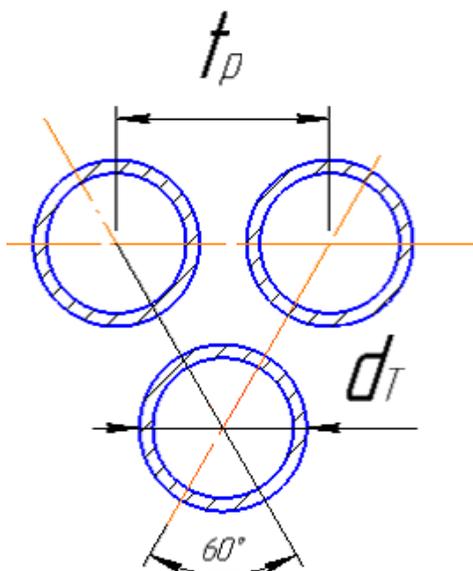


Рисунок 2.10 - Схема расположения труб по вершинам правильного шестиугольника

Принимаем трубы 25x2 мм по табл. 1 [2]. Тогда наружный диаметр труб равен:

$$d_T := 25 \text{ мм}$$

Определим шаг расположения труб по [6]:

$$t_p := 1.2 \cdot d_T + 2 = 32 \text{ мм} \quad (138)$$

Коэффициент заполнения трубной решетки примем

$$\eta := 0.8$$

Определяем число труб по [6]:

$$i := \eta \cdot \left[ \left( \frac{D}{1.1 \cdot t_p} \right)^2 \right] \quad (139)$$
$$i = 413.223$$

По табл. 4.12 [1] число труб равно:

$$\underline{i} := 442$$

По [7] минимальная толщина трубной решетки для труб 25x2 равна:

$$s_{\text{реш}} := 31 \text{ мм}$$

Так как трубная решетка выполняется заодно с фланцем, принимаем толщину решетки равной толщине фланца по [8]

$$s_{\text{шов}} := 35 \text{ мм}$$

Внутренний радиус кожуха равен:

$$a := \frac{D}{2} = 400 \text{ мм} \quad (140)$$

По [10] расстояние от оси аппарата до оси наиболее удаленной теплообменной трубки равно:

$$a_1 := 0.525 \cdot t_p \cdot \sqrt{i} = 353.2 \text{ мм} \quad (141)$$

Относительная характеристика бесшовного края трубной решетки по формуле 1 [9]:

$$m_n = \frac{a}{a_1} \quad (142)$$

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.133$$

Для гладких теплообменных труб 25x2 мм из материала 12x18н10т толщина стенки труб равна

$$s_T := 2 \text{ мм}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку

- со стороны межтрубного пространства по формуле 2 [9]:

$$\eta_M := 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.446 \quad (143)$$

- со стороны трубного пространства по формуле 3 [9]:

$$\eta_T := 1 - \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.609 \quad (144)$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата

Модуль упругости для материала 12x18н10т при температуре 120 °С по [3]:

$$t_T := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix}$$

$$E_T := \begin{pmatrix} 2.15 \cdot 10^5 \\ 2.05 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_T := \text{linterp}(t_T, E_T, 120)$$

$$E_T = 2.11 \times 10^5 \text{ МПа}$$

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

По [2] половина длины трубы теплообменного аппарата, мм

$$l_{\text{т}} := \frac{6000}{2} = 3 \times 10^3 \text{ мм} \quad (145)$$

Модуль упругости основания(системы труб) по формуле 4 [9]:

$$K_y = \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l} \frac{H}{\text{мм}^3} \quad (146)$$

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l} = 11.463$$

$$s = 6 \text{ мм}$$

Модуль упругости для 16ГС при температуре 120 °С по [3]:

$$E_K := 1.89 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле 5 [9]:

$$\rho_{\text{т}} := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_T \cdot s} = 9.594 \quad (147)$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-кожух:

$$K_q = 1 + K_q'$$

$$K_p = 1 + K_p'$$

Для аппаратов с неподвижными трубными решетками:

$$K_q' = K_p' = 0$$

$$K_q := 1$$

$$K_p := 1$$

Коэффициент жесткости трубной решетки по приложению Б [9]:

$$\eta_{\text{т}} := \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.65 \end{pmatrix}$$

$$\psi_0 := \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.37 \end{pmatrix}$$

$$\psi_0 := \text{linterp}(\eta_{\text{т}}, \psi_0, 0.609)$$

$$\psi_0 = 0.313 \text{ МПа}$$

Диаметр отверстия в решетке, мм

$$d_0 := 25.7 \text{ мм}$$

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Коэффициент ослабления трубной решетки по приложению Б [9]:

$$\varphi_p := 1 - \frac{d_0}{t_p} = 0.197 \quad (148)$$

$$d_E := d_0 - s_T = 23.7 \text{ мм} \quad (149)$$

Примем толщину стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой или с фланцем равной толщине стенки кожуха, мм

$$s_{1k} := s$$

Толщина стенки эллиптической крышки и предыдущего расчета равна:

$$s_2 := 6 \text{ мм}$$

Коэффициент системы кожух-решетка равен:

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_1}} = 0.027 \frac{1}{\text{мм}} \quad (150)$$

Диаметр фланца по табл. 21.12 [8]:

$$D_{fv} := 945 \text{ мм}$$

Радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха

$$R_1 := \frac{D_H + D}{4} = 436.25 \text{ мм} \quad (151)$$

Коэффициент жесткости втулки фланца кожуха при изгибе равен:

$$K_1 := \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_K \cdot s_1^3}{5.5 \cdot R_1} = 1.806 \times 10^5 \text{ Н*мм} \quad (152)$$

Толщина тарелки фланца кожуха по [8] равна:

$$h_1 := 40 \text{ мм}$$

По табл.4 [13] выбираем прокладку типа Б:

$$d_{II} := 820 \text{ мм}$$

внутренний диаметр прокладки

$$D_{II} := 877 \text{ мм}$$

условный проход прокладки

$$B_1 := d_{II}$$

$$E_1 := E_K$$

Коэффициент жесткости фланца кожуха при изгибе

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

$$K_{\phi 1} := \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \cdot \left( 1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2} \right) = 4.62 \times 10^6 \text{ Н*мм} \quad (153)$$

Модуль упругости для материала 12х18н10т при температуре 120 °С по [3]:

$$E_p := 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент системы решетка-трубы вычисляют по формуле 8 [9]:

$$\beta_{\text{мм}} := \frac{1.82}{s_{\text{реш}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_{\text{реш}}}{\psi_0 \cdot E_p}} = 0.015 \frac{1}{\text{мм}} \quad (154)$$

Безразмерный параметр системы решетка-трубы по формуле 10 [9]:

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 5.135 \quad (155)$$

### 2.3.8.2 Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

Коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб по формуле 12 [9]:

$$m_{\text{ср}} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - s_T)^2}{a_1^2} = 0.281 \quad (156)$$

Приведенное давление вычисляют по формуле 11 [9]:

$$p_{11} := [\alpha_K \cdot (t_K - t_0) - \alpha_T \cdot (t_T - t_0)] \cdot K_y \cdot 1 = 19.086 \quad (157)$$

$$p_{22} := [\eta_T - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.5 \cdot \rho \cdot K_q)] \cdot p_T = 3.963$$

$$p_{33} := [\eta_M - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.3 \cdot \rho \cdot K_p)] \cdot p_M = 2.562$$

$$p_0 := p_{11} + p_{22} - p_{33} = 20.487 \text{ МПа}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения по формуле 13 [9]:

$$K_{\phi} := K_{\phi 1}$$

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_{\phi} \cdot R_1} = 3.802 \quad (158)$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб определяют по табл.1 [9]

$$\omega_{\text{мм}} := \begin{pmatrix} 5 \\ 6 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_1 := \begin{pmatrix} 7.65 \\ 9.08 \end{pmatrix}$$

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

$$\Phi_1 := \text{linterp}(\omega, \Phi_1, 5.135)$$

$$\Phi_1 = 7.843$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 5 \\ 6 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_2 := \begin{pmatrix} 5.13 \\ 6.15 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_2 := \text{linterp}(\omega, \Phi_2, 5.135)$$

$$\Phi_2 = 5.268$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 5 \\ 6 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_3 := \begin{pmatrix} 7.38 \\ 8.81 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_3 := \text{linterp}(\omega, \Phi_3, 5.135)$$

$$\Phi_3 = 7.573$$

$$\omega := 5.135$$

Значения  $T_1, T_2, T_3$  определяют по приложению Г [9]:

$$T_1 := 9.44$$

$$T_2 := 5.36$$

$$T_3 := 5.9$$

По формулам 20,21,22 [9]:

Коэффициент влияния давления на изгиб 1-го фланца

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2} = 1.464 \times 10^3 \text{ мм}^2 \quad (159)$$

Так как фланцы на кожухе одинаковые, примем, что коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца равен коэффициенту влияния давления на изгиб 1-го фланца

$$m_2 := m_1$$

Приведенное давление на фланцы равно:

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) = 0 \text{ МПа} \quad (160)$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки, вычисляют :

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		64

- для изгибающего момента по формуле 18 [9]:

$$M_n := \left( \frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -1.711 \times 10^4 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \quad (161)$$

- для перерезывающей силы по формуле 19 [9]:

$$Q_n := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 450.21 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (162)$$

Изгибающий момент и перерезывающие силы, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки:

для изгибающего момента по формуле 23 [9]:

$$M_a := M_n + (a - a_1) \cdot Q_n = 3.962 \times 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \quad (163)$$

для перерезывающей силы по формуле 24 [9]:

$$Q_a := m_n \cdot Q_n = 509.864 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (164)$$

Осевая сила и изгибающий момент, действующие на трубу

для осевой силы по формуле 25 [9]:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot \left[ (\eta_M \cdot P_M - \eta_T \cdot P_T) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a \right] = 1.071 \times 10^4 \text{ Н} \quad (165)$$

Принимаем аппарат с перегородками в кожухе, тогда максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой:

$$l_{1R} := 780 \text{ мм}$$

Приведенная длина трубы, используемая при расчете прогиба труб и изгибающего момента, действующего на трубу по стр.17 [9]

$$l_{пр} := \frac{l_{1R}}{3} = 260 \text{ мм} \quad (166)$$

Внешний диаметр трубки равен:

$$d_{внеш} := 25 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр трубки равен:

$$d_{внутр} := 21 \text{ мм}$$

Момент инерции поперечного сечения трубы:

$$J_T := \frac{\pi \cdot (d_{внеш}^4 - d_{внутр}^4)}{64} = 9.628 \times 10^3 \text{ мм}^4 \quad (167)$$

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

Изгибающий момент, действующий на трубу по формуле 26 [9]:

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_Y \cdot a_1 \cdot l_{пр}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = 8.76 \times 10^4 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (168)$$

Усилия в кожухе:

- усилие, распределенное по периметру кожуха по формуле 27 [9]:

$$Q_K := \frac{a}{2} \cdot p_T - Q_n = -330.21 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (169)$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха по формуле 28 [9]:

$$M_K := \frac{K_1}{\rho \cdot K_\phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_n + T_3 \cdot \beta \cdot M_n) - \frac{P_M}{2 \cdot \beta_1^2} = -161.029 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \quad (170)$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух по формуле 29 [9]:

$$F := \pi \cdot D \cdot Q_K = -8.299 \times 10^5 \text{ Н} \quad (171)$$

### 2.3.8.3 Расчетные напряжения в элементах конструкции

Принимаем трубную решетку, приваренную втавр к обечайке кожуха по [9]. Нагрузки на решетку представлены на рисунке 2.11. Расчетная схема решетки представлена на рисунке 2.12. Трубная решетка аппарата отмечена на рисунке 2.2 позицией номер 6.

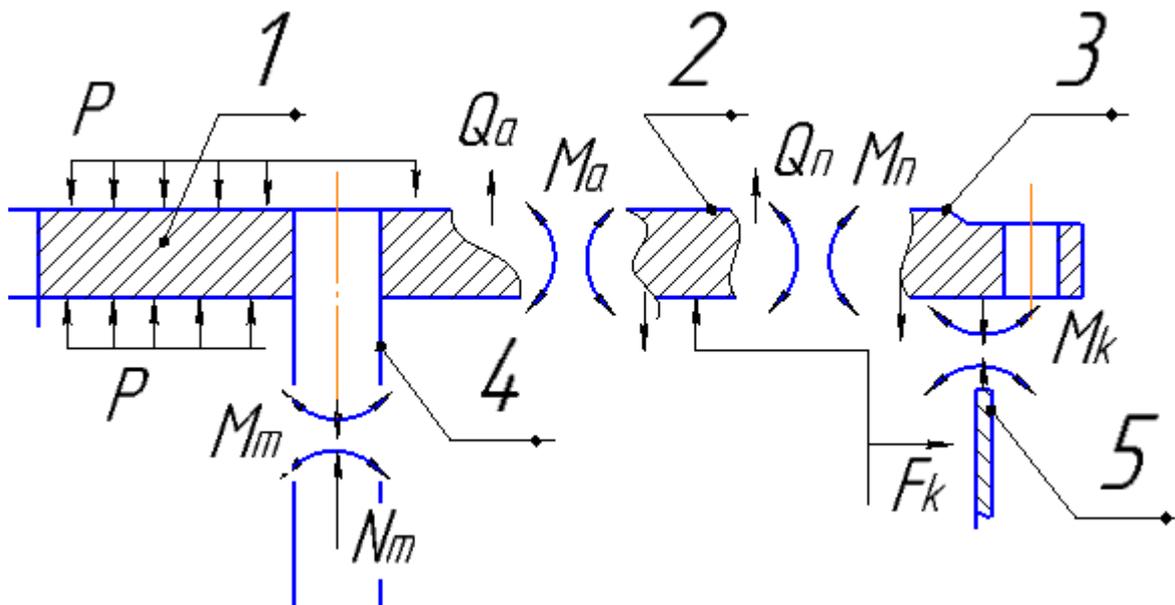


Рисунок 2.11 - Нагрузки на трубную решетку:

- 1 - центральная перфорированная часть; 2- кольцевая неперфорированная часть;  
3 - фланец; 4 - трубы; 5 - корпус.

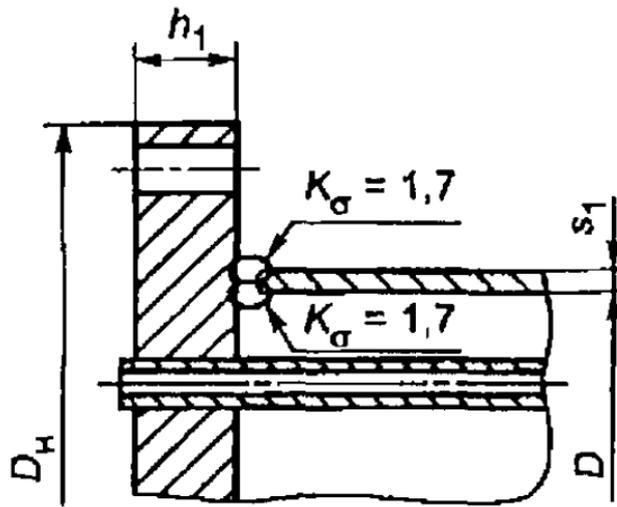


Рисунок 2.12 - Расчетная схема трубной решетки

$$s_p := s_{\text{реш}}$$

Ширина тарелки фланца кожуха

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} = 72.5 \text{ мм} \quad (172)$$

$$s_p = 35 \text{ мм}$$

Принимаем толщину решетки в зоне кольцевой канавки равной толщине трубной решетки

$$s_{1p} := s_{\text{реш}}$$

$$s_{1p} = 35 \text{ мм}$$

Расчетные напряжения в трубных решетках

Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом

- изгибные по формуле 30 [9]:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_n|}{(s_{1p} - c)^2} = 94.258 \text{ МПа} \quad (173)$$

- касательные по формуле 31 [9]:

$$\tau_{p1} := \frac{|Q_n|}{(s_{1p} - c)} = 13.643 \text{ МПа} \quad (174)$$

При

$$-1 \leq \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} \leq 1$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

где  $A$  - коэффициент, определяемый по табл. Г2 [9] в зависимости от  $\omega$  и  $m_A$

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 0.113 \quad (175)$$

$$A := 0.45$$

Максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки по формуле 34 [9]:

$$M_{\max} := A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} = 1.578 \times 10^4 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \quad (176)$$

$$|M_a| \leq M_{\max}$$

$$3.962 \times 10^3 \leq 1.578 \times 10^4$$

условия выполняются

Напряжения в перфорированной части трубной решетки

- изгибные по формуле 32 [9]:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\varphi_p \cdot (s_{1p} - c)^2} = 441.628 \text{ МПа} \quad (177)$$

- касательные по формуле 33 [9]:

$$\tau_{p2} := \frac{|Q_a|}{\varphi_p \cdot (s_{1p} - c)} = 78.478 \text{ МПа} \quad (178)$$

Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке

- в меридиональном направлении по формулам 38,39 [9]:

Мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_1 - c)} = 82.552 \text{ МПа} \quad (179)$$

Изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_1 - c)^2} = 60.386 \text{ МПа} \quad (180)$$

- в окружном направлении по формулам 40,41 [9]:

мембранные

$$\sigma_{M\phi} := \frac{|p_M| \cdot a}{(s_1 - c)} = 60 \text{ МПа} \quad (181)$$

Изгибные:

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						68
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\sigma_{\text{уп}} := 0.3 \cdot \sigma_{\text{ух}} = 18.116 \text{ МПа} \quad (182)$$

Напряжения в трубах

- в осевом направлении по формулам 42,43 [9]:

Мембранные :

$$\sigma_{1T} := \frac{|N_T|}{\pi \cdot (d_T - s_T) \cdot s_T} = 74.14 \text{ МПа} \quad (183)$$

Суммарные

$$\sigma_1 := \sigma_{1T} + \frac{d_T \cdot |M_T|}{2 \cdot J_T} = 187.872 \text{ МПа} \quad (184)$$

- в окружном направлении по формуле 44 [9]:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_T - s_T) \max(|p_T|, |p_M|, |p_T - p_M|)}{2 \cdot s_T} = 3.45 \text{ МПа} \quad (185)$$

#### 2.3.8.4 Проверка прочности и устойчивости кожуха

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке по формуле 53 [9]:

$$\sigma_{Mx} \leq 1.3 \cdot \sigma \quad (186)$$

$$110.07 \leq 226.85 \text{ МПа}$$

условие статической прочности выполняется

Так как осевая сила в кожухе  $F < 0$ , следует провести проверку кожуха на местную устойчивость от действия сжимающей силы  $F$ .

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности вычисляют по формуле 15 [4]

$$F_{\text{дп}} := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma = 1.77 \times 10^6 \text{ Н} \quad (187)$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости вычисляют из условия местной устойчивости в пределах упругости по формуле 16 [4]

$$F_{\text{дЕ}} := \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E_K}{1.8} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 3.683 \times 10^6 \text{ Н} \quad (188)$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие вычисляют по формуле 14 [4]

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

$$F_{\text{д}} := \frac{F_{\text{дп}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\text{дп}}}{F_{\text{дЕ}}}\right)^2}} = 1.595 \times 10^6 \text{ Н} \quad (189)$$

$$|F| \leq F_{\text{д}}$$

$$8.299 \times 10^5 \leq 1.595 \times 10^6 \text{ Н}$$

условие устойчивости выполняется

### 2.3.8.5 Проверка прочности и жесткости трубных решеток

Допускаемое напряжение для материала решетки 12x18н10т при температуре 120 °С по [3]:

$$\sigma_{\text{др}} := 172 \text{ МПа}$$

Проверка статической прочности

$$\max(\tau_{\text{р1}}, \tau_{\text{р2}}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{\text{др}} \quad (190)$$

$$80.931 \leq 137.6 \text{ МПа}$$

По таблице 2 [9] принимаем допустимую величину прогиба трубной решетки

$$[W] := 0.9 \text{ мм}$$

$$W := \frac{1.2}{K_{\text{у}} \cdot a_1} \cdot |T_1 \cdot Q_{\text{н}} + T_2 \cdot \beta \cdot M_{\text{н}}| = 0.864 \text{ мм} \quad (191)$$

$$W \leq [W]$$

$$0.864 \leq 0.9 \text{ мм}$$

условия выполняются

### 2.3.8.6 Расчет труб на прочность и расчет крепления труб в решетке

Примем, что трубки крепятся в трубной решетке при помощи развальцовки. Расчетная схема крепления труб в трубной решетке представлена на рисунке 2.13

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

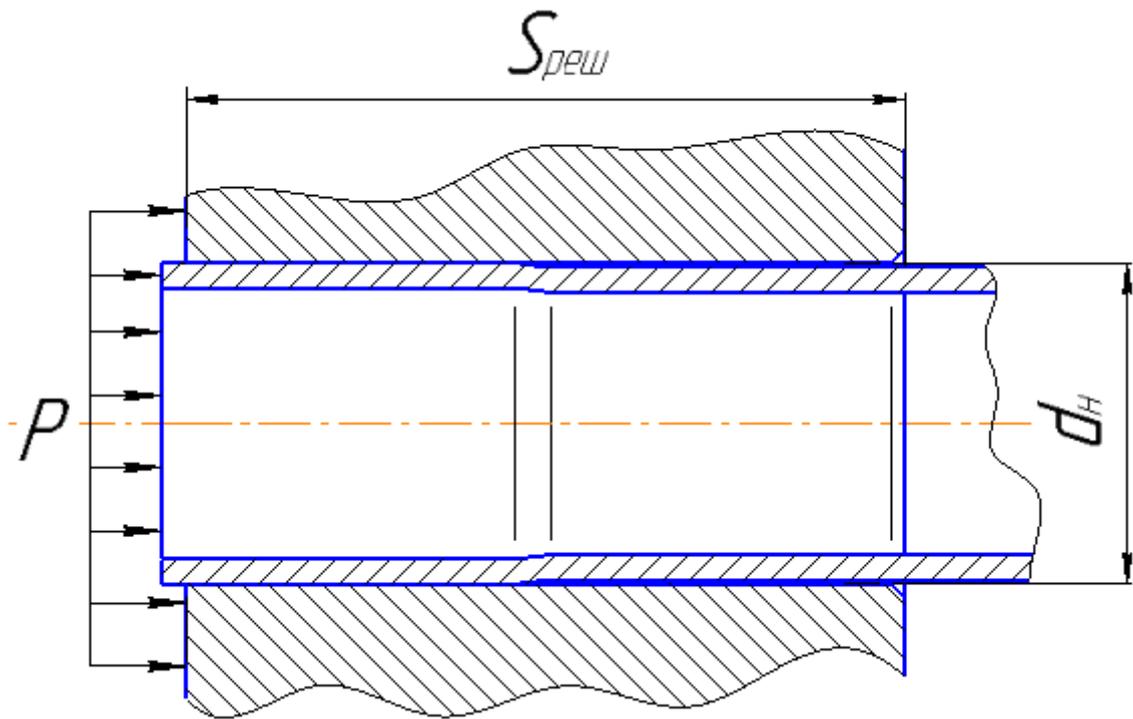


Рисунок 2.13 - Схема крепления труб в трубной решетке

Допускаемое напряжение для материала труб 12x18н10т при температуре 120 °С по [3]:

$$\sigma_{дт} := 172 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности труб:

$$\max(\sigma_{1Т}, \sigma_{2Т}) \leq \sigma_{дт}$$

$$74.14 \leq 172 \text{ МПа}$$

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если  $N_T < 0$ .

$$N_T = 1.071 \times 10^4 \text{ Н}$$

Примем, что гладкие теплообменные трубы крепятся развальцовкой

Примем глубину развальцовки

$$l_B := 26 \text{ мм}$$

По приложению Е [9] для гладкозавальцованных труб допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой равна:

$$[N]_{Тр} := \left[ 0.5 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \min\left(\frac{l_B}{d_T}, 1.6\right) \min(\sigma_{дт}, \sigma_{др}) \right] = 1.293 \times 10^4 \text{ Н} \quad (192)$$

Условие крепления труб в трубной решетке

$$|N_T| \leq [N]_{Тр}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$1.071 \times 10^4 \leq 1.293 \times 10^4 \text{ Н}$$

условия прочности выполняются

### 2.3.8.7 Проверка кожуха, обечайки и труб на малоцикловую прочность

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичного сосуда, приведенного в [1], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [19] не проводится для обечайки, труб и трубной решетки.

В данном подразделе были произведены расчеты прочности фланцев, болтов и прокладок, а также расчет герметичности фланцевого соединения.

Исходя из полученных данных, принят теплообменник типа 800ТНГ-0.6-М13-О/25Г-6-2-У гр.4.

Для труб:

-проведена проверка статической прочности:

$$\max(\sigma_{1T}, \sigma_{2T}) \leq \sigma_{дТ} \quad (74.14 \leq 172 \text{ МПа})$$

-проведена проверка крепления труб в трубной решетке:

$$|N_T| \leq [N]_{Тр} \quad (1.071 \times 10^4 \leq 1.293 \times 10^4 \text{ Н})$$

Для трубной решетки:

-проведена проверка статической прочности:

$$\max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др} \quad (80.931 \leq 137.6 \text{ МПа})$$

- величина прогиба трубной решетки:

$$W \leq [W] \quad (0.864 \leq 0.9 \text{ мм})$$

- изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки

$$|M_a| \leq M_{\max} \quad (3.962 \times 10^3 \leq 1.578 \times 10^4 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}})$$

По произведенным расчетам можно сделать вывод, что конструкция фланцевого соединения отвечает всем критериям надежности.

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

### 2.3.9 Расчет массы аппарата

Исходные данные для расчета массы аппарата приведены в таблице 2.15.

Таблица 2.15 - Исходные данные для расчета массы аппарата

Наружный диаметр корпуса, м	$D_{\text{нв}} := 0.812$
Внутренний диаметр аппарата, м	$D_{\text{вк}} := 0.8$
Внутренний диаметр крышки, м	$D_{\text{кр}} := 0.8$
Внутренний диаметр труб, м	$D_{\text{вт}} := 0.021$
Наружный диаметр труб, м	$D_{\text{нт}} := 0.025$
Плотность воды, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{с}} := 1000$
Толщина стенок труб, м	$s_{\text{тв}} := 0.002$
Толщина стенки корпуса, м	$s_{\text{корп}} := 0.006$
Сумма прибавок, м	$c := 0.003$
Длина корпуса, м	$L_{\text{корп}} := 7.328$
Длина труб, м	$L_{\text{труб}} := 6$
Длина распределительной камеры, м	$L_{\text{к}} := 0.532$
Количество труб, м	$n := 442$
Ускорение свободного падения, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$g := 9.81$
Плотность стали, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{мет}} := 7850$
Толщина трубной решетки, м	$s_{\text{тр}} := 0.035$
Диаметр трубной решетки, м	$D_{\text{т.р1}} := 0.8$

Вес корпуса аппарата:

$$G_{\text{корп}} := \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{н}}^2 - D_{\text{вк}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{корп}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 8.574 \times 10^3 \text{ Н} \quad (193)$$

Вес распределительной камеры аппарата:

$$G_{\text{кам}} := \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{Н}}^2 - D_{\text{ВК}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 622.424 \text{ Н} \quad (194)$$

Вес трубного пучка:

$$G_{\text{труб.п}} := \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{НТ}}^2 - D_{\text{ВТ}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{труб}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g \cdot n = 2.951 \times 10^4 \text{ Н} \quad (195)$$

Вес трубной решетки:

$$G_{\text{труб.р}} := \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{Т.р1}}^2}{4} \right) \cdot s_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 1.355 \times 10^3 \text{ Н} \quad (196)$$

По [12] вес эллиптической крышки:

$$G_{\text{Э.к.}} := 36.3 \text{ кг}$$

Вес пустого аппарата:

Принимаем, что фланцы, патрубки и пр. составляют 30% массы аппарата

$$G_{\text{ап1}} := (2G_{\text{Э.к.}} + 2G_{\text{труб.р}} + G_{\text{корп}} + G_{\text{кам}} + G_{\text{труб.п}}) \cdot 0.3 = 1.245 \times 10^4 \text{ Н}$$

Вес жидкости в аппарате:

Вес жидкости внутри аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{жид1}} := \left[ \pi \cdot \frac{D_{\text{ВК}}^2}{4} \cdot (L_{\text{корп}} + L_{\text{к}}) \right] \cdot \rho_{\text{с}} \cdot g = 3.876 \times 10^4 \text{ Н} \quad (197)$$

Вес аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{ап2}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид1}} = 5.121 \times 10^4 \text{ Н} \quad (198)$$

Нагрузка от собственной массы:

$$F_{\text{ww}} := G_{\text{ап2}} = 5.121 \times 10^4 \text{ Н}$$

Переводим нагрузку в МН:

$$F1 := \frac{F}{1000000} = 0.051 \text{ М} \quad (199)$$

### 2.3.10 Расчёт обечайки, нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор [17]

Целью расчета является проверка несущей способности корпуса аппарата от воздействия опорной нагрузки от рабочего веса аппарата, а также подбор седловых опор на основе рассчитанной максимальной массы кожухотрубчатого теплообменника. В расчете определяется необходимость подкладного листа.

Седловая опора изображена на рисунке 2.2 под номером 3. Расчетная схема опоры изображена на рисунке 2.14

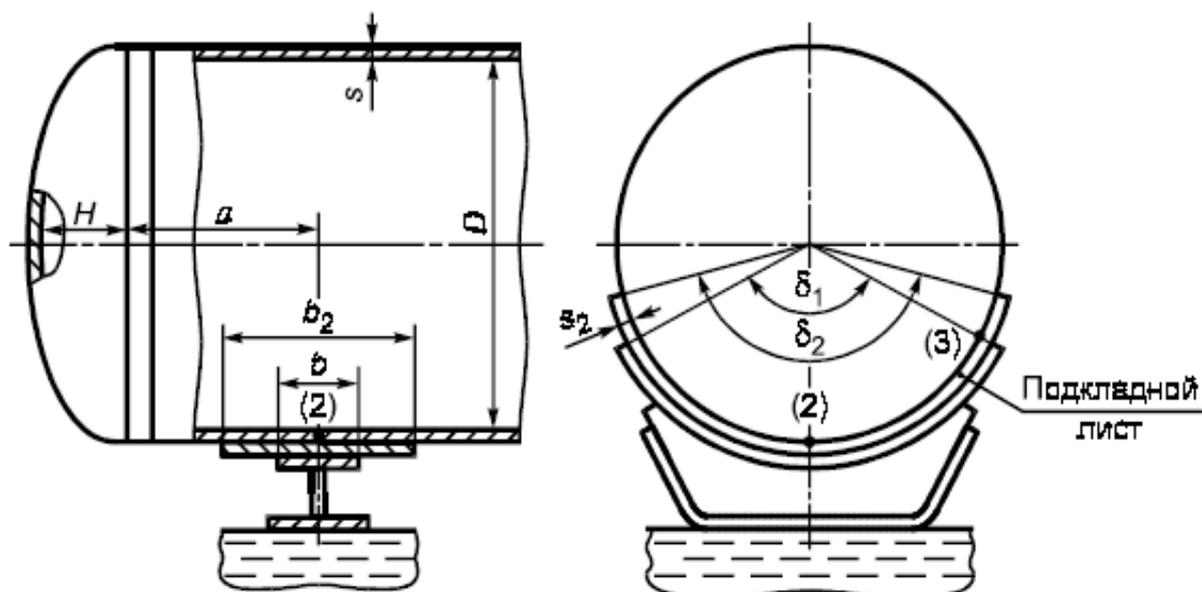


Рисунок 2.14 - Расчетная схема седловой опоры

Исходные данные для расчета обечайки, нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор представлены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 - Исходные данные для расчета обечайки, нагруженной опорными нагрузками от воздействия седловых опор

Марка стали	16ГС
Плотность материала, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_w := 7850$
Высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;	$H := 192$
Длина цилиндрической части сосуда, включая длину цилиндрической отбортовки днища, мм;	$L_w := 6766$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Продолжение таблицы 2.16

Внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;	$D := 800$
Внутреннее избыточное давление, МПа	$p_{rab} := 0.2$
Коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;	$\phi_{sw} := 1$
Модуль продольной упругости материала обечайки при расчетной температуре, МПа	$E_{sw} := 1.89 \times 10^5$
Ширина седловой опоры, мм;	$b_{sw} := 250$
Исполнительная толщина подкладного листа, мм;	$s_{2sw} := 6$
Исполнительная толщина стенки кожуха, мм	$s_{sw} := 6$
Ширина подкладного листа, мм;	$b_2 := 360$
Допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;	$\sigma_t := 174.5$
Предел текучести при расчетной температуре, МПа;	$\sigma_{Tsw} := 261.9$
Допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;	$\sigma_{20sw} := 196$
Длина выступающей цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днища, мм;	$a_{sw} := 1760$
Длина свободновыступающей части эквивалентного сосуда, мм;	$e_{sw} := a + H$
Расчетная температура в аппарате, °С;	$t_{rab} := 120$
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;	$c_{sw} := 3$
Угол охвата седловой опоры, °;	$\delta_1 := 120 \cdot \text{deg}$
Угол охвата сосуда подкладным листом, °.	$\delta_2 := 140 \cdot \text{deg}$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

В качестве основной расчётной схемы принимаем цилиндрический сосуд постоянного сечения симметрично опёртый на две опоры.

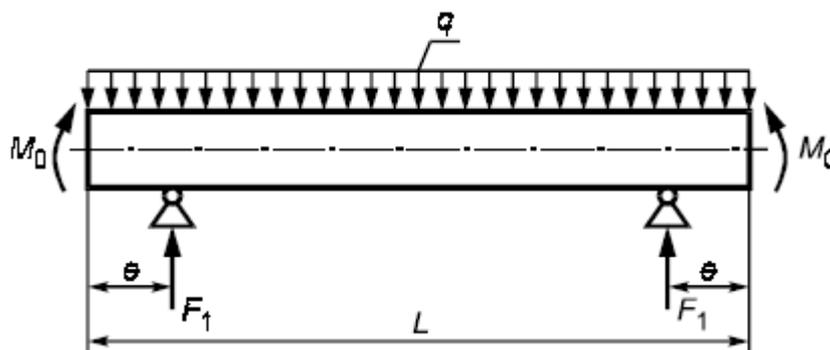


Рисунок 2.15 - Расчетная схема определения усилий

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

Принимаем по [3] при расчётной температуре  $t=120\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\sigma_d := \text{Floor}(\sigma_t \cdot \phi, 0.5)$$

$$\sigma_d = 174.5 \text{ МПа}$$

Расчётное давление:

$$p := p_{\text{rab}}$$

$$p = 0.2 \text{ МПа}$$

Вес аппарата при гидроиспытаниях:

$$G_{\text{ап2}} = 5.121 \times 10^4$$

Площадь эллиптической крышки

$$A_k := 1.24 \cdot D = 992 \text{ мм}$$

Проверка применимости формул:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Формулы применимы"} & \text{if } \left\{ \begin{array}{l} A_k \geq (s - c) \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} \\ 60 \cdot \text{deg} \leq \delta_1 \leq 180 \cdot \text{deg} \\ \frac{s - c}{D} \leq 0.5 \\ s_2 \geq s \end{array} \right. \\ \text{"Формулы НЕ применимы"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov} = \text{"Формулы применимы"}$$

Распределенную нагрузку и изгибающий момент, действующие на обечайку по приведенной на рис. 2.15 расчетной схеме, вычисляют по формулам 30,31 [17]

					Лист
					77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ

$$\begin{aligned} \underline{H} &:= 192 \text{ мм} \\ \underline{q} &:= \frac{G_{\text{ап2}}}{L + \frac{4 \cdot H}{3}} = 7.292 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \end{aligned} \quad (200)$$

$$M_0 := q \cdot \frac{D^2}{16} = 2.917 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (201)$$

Опорное усилие вычисляют по формуле 33 [17]

$$F_1 := \frac{G_{\text{ап2}}}{2} = 2.56 \times 10^4 \text{ Н} \quad (202)$$

Моменты над опорой вычисляют по формуле 34 [17]

$$\begin{aligned} M_1 &= M_2 \\ M_1 &:= \left| \frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 \right| = 1.36 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (203)$$

$$M_2 := M_1 = 1.36 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальный момент между опорами вычисляют по формуле 35 [17]

$$M_{12} := M_0 + F_1 \cdot \left( \frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left( \frac{L}{2} + \frac{2}{3} \cdot H \right)^2 = -3.101 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (204)$$

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой вычисляют по формуле 36 [17]

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot H} \cdot F_1 = 1.184 \times 10^4 \text{ Н} \quad (205)$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами по формуле 40 [17]

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} := \begin{cases} \text{"Проверка требуется"} & \text{if } M_{12} \geq M_1 \\ \text{"Проверка не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} = \text{"Проверка не требуется"}$$

Следовательно, несущую способность обечайки в сечении между опорами проверять не следует

### 2.3.10.1 Проверка несущей способности обечайки, неукреплённой кольцами жесткости в области опорного узла [17]

Параметр, определяемый расстоянием до днища вычисляют по формуле 45 [17]:

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

$$\gamma_{\text{max}} := 2.83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{(s-c)}{D}} = 0.381 \quad (206)$$

Параметр, определяемый шириной пояса опоры вычисляются по формуле 46 [17]

$$\beta_{1\text{max}} := 0.91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (s-c)}} = 4.644 \quad (207)$$

Общее меридиональное мембранное напряжение изгиба, действующие в области опорного узла вычисляются по формуле 55 [17]

$$\sigma_{\text{max}} := \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D^2 \cdot (s-c)} = 9.019 \text{ МПа} \quad (208)$$

Проверка несущей способности обечайки

$$u := 2$$

для подкладного листа по формуле 61 [17]

$$w := \begin{cases} s - c & \text{if } u = 1 \\ (s - c) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{s - c}\right)^2} & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

$$b_{\text{max}} := \begin{cases} b & \text{if } u = 1 \\ b_2 & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

$$\delta_{\text{max}} := \begin{cases} \delta_1 & \text{if } u = 1 \\ \delta_2 & \text{if } u = 2 \end{cases}$$

Условие прочности по формуле 56 [17]

$$F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3})$$

$F_{d2}$  - допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении.

$F_{d3}$  - допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении

Предельные напряжения изгиба  $\sigma_{i2}$ ,  $\sigma_{i3}$ :

Коэффициенты для определения  $\sigma_{ij} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d$

При

$o := 2$  для условий испытания

$$K_2 := \begin{cases} 1.25 & \text{if } o = 1 \\ 1.05 & \text{if } o = 2 \end{cases}$$

$$K_2 = 1.05$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

$$K_{10} := \max\left(\frac{e^{-\beta_1} \cdot \sin(\beta_1)}{\beta_1}, 0.25\right) = 0.25 \quad (209)$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{12} := \frac{1.15 - 0.1432 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.851 \quad (210)$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{14} := \frac{1.45 - 0.43 \cdot \delta}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.425 \quad (211)$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища

$$K_{16} := 1 - \frac{0.65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta}} = 0.932 \quad (212)$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{17} := \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt{\frac{D}{w}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta} = 0.235 \quad (213)$$

Коэффициент, учитывающий влияние угла охвата

$$K_{13} := \frac{\max\left(1.7 - \frac{2.1 \cdot \delta}{\pi}, 0\right)}{\sin(0.5 \cdot \delta)} = 0.071 \quad (214)$$

Коэффициент, учитывающий влияние расстояние до днища

$$K_{15} := \min\left(1, \frac{0.8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta}\right) = 1 \quad (215)$$

Коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры

$$K_{11} := \frac{1 - e^{-\beta_1} \cdot \cos(\beta_1)}{\beta_1} = 0.215 \quad (216)$$

по табл.1 [17]

$$v_{12} := \frac{-0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} \quad (217)$$

$$v_{13} := \frac{-0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5 \cdot \delta)} \quad (218)$$

$$v_{212} := -\sigma_{mx} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d} \quad (219)$$

$$v_{213} := 0$$

$$v_{222} := \left( \frac{p \cdot D}{4 \cdot w} - \sigma_{mx} \right) \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d} \quad (220)$$

$$v_{223} := \frac{p \cdot D}{2 \cdot w} \cdot \frac{1}{K_2 \cdot \sigma_d} \quad (221)$$

по стр.3 [17]

$$K_{112} := \frac{1 - v_{212}^2}{\left( \frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212} \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{212} \right)^2 + \left( 1 - v_{212}^2 \right) \cdot v_{12}^2}} = 1.461 \quad (222)$$

$$K_{122} := \frac{1 - v_{213}^2}{\left( \frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213} \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{213} \right)^2 + \left( 1 - v_{213}^2 \right) \cdot v_{13}^2}} = 0.596 \quad (223)$$

$$K_{113} := \frac{1 - v_{222}^2}{\left( \frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222} \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + v_{12} \cdot v_{222} \right)^2 + \left( 1 - v_{222}^2 \right) \cdot v_{12}^2}} = 1.475 \quad (224)$$

$$K_{123} := \frac{1 - v_{223}^2}{\left( \frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{223} \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{3} + v_{13} \cdot v_{223} \right)^2 + \left( 1 - v_{223}^2 \right) \cdot v_{13}^2}} = 0.633 \quad (225)$$

$$K_{1.2} := \min(K_{112}, K_{122}) = 0.596$$

$$K_{1.3} := \min(K_{113}, K_{123}) = 0.633$$

Предельное напряжение изгиба по формуле 1 [17]

$$\sigma_{i2} := K_{1.2} \cdot K_2 \cdot \sigma_d = 109.179 \text{ МПа} \quad (226)$$

$$\sigma_{i3} := K_{1.3} \cdot K_2 \cdot \sigma_d = 116.045 \text{ МПа} \quad (227)$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в меридиональном направлении по формуле 57 [17]

$$F_{d2} := \frac{0.7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot w} \cdot (w)}{K_{10} \cdot K_{12}} = 1.764 \times 10^5 \text{ Н} \quad (228)$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении по формуле 58 [17]

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

$$F_{d3} := \frac{0.9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (w)} \cdot (w)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} = 5.506 \times 10^5 \text{ Н} \quad (229)$$

Условие прочности: по формуле 56 [17]

$$F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3})$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Проверка3} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } F_1 \leq \min(F_{d2}, F_{d3}) \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка3} = \text{"Условие прочности выполняется."}$$

Эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры по формуле 60 [17]

$$F_e := F_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{(w)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} = 1.558 \times 10^4 \text{ Н} \quad (230)$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие по формуле 13 [4]

$$\varphi_T := 1$$

по прил.5 [4]

$$F_d := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_d \cdot \varphi_T = 1.321 \times 10^6 \text{ Н} \quad (231)$$

по графику 7 [4]

$$\varphi_3 := 0.97$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности, Н\*мм определяется по формуле 22 [4]:

$$M_{II} := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_d = 2.641 \times 10^8 \quad (232)$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости, Н\*мм определяется по формуле 23 [4]:

$$M_E := \frac{8.9 \cdot 10^{-5} \cdot E}{1.8} \cdot D^3 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 4.12 \times 10^8 \quad (233)$$

Допускаемый изгибающий момент, Н\*мм определяем по формуле 21 [4]

$$M_d := \frac{M_{II}}{\sqrt{1 + \left( \frac{M_{II}}{M_E} \right)^2}} = 2.224 \times 10^8 \quad (234)$$

Проверка условия устойчивости по формуле 59 [17]:

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

$$\frac{M_1}{M_d} + \frac{F_e}{F_d} \leq 1$$

$$0.073 \leq 1$$

условие устойчивости выполняется

Таким образом, подбираем седловую опору типа 2 для сосудов и аппаратов диаметром

от 800 до 4000 мм, согласно табл. 29.12 [8]

По расчетам, произведенным в данном разделе, можно сделать вывод, что выбранные седловые опоры не оказывают на обечайку аппарата воздействий, которые могли бы привести к потере прочности и устойчивости теплообменника.

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		83

## 2.4 Гидравлический расчет

Целью гидравлического расчета является определение мощности требуемого насоса. Мощность, потребляемая двигателем насоса [1, с. 20]:

$$N = \frac{V \cdot \Delta P}{\eta} \quad (235)$$

, где

$V$  – объемный расход нефти, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta P$  – общее давление, Па;

$\eta$  – КПД насоса (принимается 0.75).

Найдем общее давление по формуле 1.49 [1, с. 25]:

$$\Delta P = \Delta P_{тр} + \Delta P_{мс} + \Delta P_h \quad (236)$$

, где

$\Delta P_{тр}$  - потери на трение, Па;

$\Delta P_{мс}$  - потери на преодоление местных сопротивлений, Па;

$\Delta P_h$  - потери на высоту, Па.

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{l}{d_n \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_2}{2} + \Sigma \zeta \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_2}{2} + \rho_2 \cdot g \cdot h \quad (237)$$

, где

$l$  - длина труб, м;

$\lambda$  - коэффициент сопротивления трению;

$h$  - высота подъема теплоносителя, м ;

$\Sigma \zeta$  - суммарный коэффициент местного сопротивления;

Коэффициент сопротивления трению:

$$\lambda := \frac{0.316}{RE^{0.25}} = 0.028 \quad (238)$$

					<b>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</b>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Выполнил</i>	Чернов А.В.				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	Тихонов В.В.				Д	84	2
<i>Н. Контр.</i>					<i>Гидравлический расчет</i>		
<i>Утверд.</i>					ТГУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4К51		

Определим все коэффициенты местных сопротивлений по таблице табл. XIII [1, с.520]:

Коэффициенты местных сопротивлений представлены в таблице 2.14

Таблица 2.14- Коэффициенты местных сопротивлений

Вид сопротивления	$\Sigma\zeta$
Вход в камеру, вход в трубки поворот на 180° между ходами, вход в трубки, вход в трубку, выход из трубки, выход из камеры	1,5+1+2,5+1+1+1,5+1=9,5

Таким образом, общее давление будет равно:

$$\Delta P := \lambda \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{d_{вн} \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{\omega l^2 \cdot \rho l}{2} + \Sigma\zeta \cdot \frac{\omega l^2 \cdot \rho l}{2} + \rho l \cdot g \cdot h = 4.262 \times 10^4 \text{ Па} \quad (239)$$

Рассчитаем мощность насоса:

$$N := \frac{V \cdot \Delta P}{1000 \cdot \eta} = 1.591 \text{ кВт} \quad (240)$$

Исходя из объемного расхода и рассчитанной мощности принимаем насос. Характеристики насоса и электродвигателя представлены в таблице 2.15

Таблица 2.15 – Характеристики насоса и электродвигателя

Тип насоса	Расход, м <sup>3</sup> /с	Напор, атм	n, об/мин	$\eta_n$	Электродвигатель		
					тип	N, кВт	Скорость якоря, об/мин.
ДС-125	1.5 · 10 <sup>-2</sup>	6	750	0.8	АИР 132 М6	7,5	-

## 2.5 Расчет толщины тепловой изоляции

Найдем коэффициент теплоотдачи [1, с. 168]:

$$\alpha = 9.74 + 0.07 \cdot \Delta t \quad (241)$$

, где

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

Примем что наш теплообменник установлен вне помещения (при температуре

наружной среды  $-30^\circ\text{C}$ ):

$$\Delta t := 40 - (-30) = 70^\circ\text{C} \quad (242)$$

Тогда коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha := 9.74 + 0.07 \cdot 70 = 14.64 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Найдем удельный тепловой поток:

$$q_{\text{уд}} := \alpha \cdot \Delta t = 1.025 \times 10^3 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (243)$$

В качестве изоляционного материала примем совелит

Теплопроводность совелита [табл. XXVIII, 1, с. 529]:

$$\lambda := 0.09 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Вычислим толщину изоляции при рабочей температуре  $120^\circ\text{C}$ :

$$q := \frac{\lambda}{\delta} \cdot [T_{\text{раб}} - (-30)] \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (244)$$

Откуда:

$$\delta_{\text{и}} := \frac{\lambda}{q_{\text{уд}}} \cdot [T_{\text{раб}} - (-30)] = 0.013 \quad \text{м} \quad (245)$$

Принимаем толщину изоляции 13 мм.

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Выполнил</i>	<i>Чернов А.В.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Тихонов В.В.</i>				<i>Д</i>	<i>86</i>	<i>1</i>
<i>Н. Контр.</i>					<i>ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4К51</i>		
<i>Утверд.</i>							

### 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

#### 3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. В таблице 3.1 представлена карта сегментирования рынка по производству кожухотрубчатых теплообменников.

Таблица 3.1- Карта сегментирования КТ

Размер завода		Количество ходов в теплообменнике		
		1-ходовый	2-ходовый	4-ходовый
Малый завод		•		
Средний завод			○	
Крупный завод				✓
ООО «Теплотекс АПВ»	ООО Промышленная группа «Империя»	ЗАО «ЦЭЭВТ»		
•	○	✓		

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Выполнил</i>	<i>Чернов А.В.</i>				<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Тихонов В.В.</i>					<i>Д</i>	<i>87</i>	<i>19</i>
<i>Н. Контр.</i>						<i>ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4К51</i>		
<i>Утверд.</i>								

### 3.2 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. Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны проекта С1.</b> Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p><b>С2.</b> Более низкая стоимость аппарата по сравнению с импортными производителями.</p> <p><b>С3.</b> Возможность работы с агрессивными средами</p>	<p><b>Слабые стороны проекта</b></p> <p><b>Сл1.</b> Уровень проникновения только на российском рынке.</p> <p><b>Сл2.</b> Большое количество конкурентных производителей данного аппарата.</p> <p><b>Сл3.</b> Нет возможности механической очистки межтрубного пространства</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p><b>В1.</b> Возможность увеличения поверхности теплопередачи.</p> <p><b>В2.</b> Развитие потребительской способности рынка на выпускаемый продукт.</p> <p><b>В3.</b> Возможность использования аппарата как в вертикальном, так и горизонтальном положении.</p>	<p><b>Сильные стороны и возможности</b></p> <p><b>1.</b>Изменение скорости потоков, использование возможных площадей теплообмена как внутри труб, так и в межтрубном пространстве, за счет различных интенсификаторов.</p> <p><b>2.</b>Развитие торговых отношений отечественных и иностранных производителей.</p>	<p><b>Слабые стороны и возможности</b></p> <p><b>1.</b>Создание новой технологии, которая бы обеспечила заинтересованность иностранных потребителей.</p> <p><b>2.</b>Привлечение новых заказчиков.</p> <p><b>3.</b>Рациональное распределение потоков может исключить механическую очистку межтрубного пространства.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p><b>У1.</b> Угроза нарушения герметичности при неправильной эксплуатации</p> <p><b>У2.</b> Высокая конкуренция между производителями</p> <p><b>У3.</b> Угроза вырывания труб трубного пучка из трубной решетки, при увеличении нагрузок (давление).</p>	<p><b>Сильные стороны и угрозы</b></p> <p><b>1.</b>Использование подходящих прокладок.</p> <p><b>2.</b>Вероятность продвижение аппарата на мировой рынок за счет новизны технологии и снижения стоимости.</p> <p><b>3.</b>Использование подходящего рода крепления труб в трубной решетки.</p>	<p><b>Слабые стороны и угрозы</b></p> <p><b>1.</b>Использование других конструкций аппарата, которые позволили бы очищать межтрубное пространство механическим путем, или замена труб.</p> <p><b>2.</b>Снижение цен на выпускаемую продукцию.</p> <p><b>3.</b>Усовершенствование технологии.</p>

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Основываясь на SWOT – анализе, можно сделать выводы, что для того, чтобы обеспечить конкурентоспособность, необходимо провести некоторые преобразования:

1) Полностью перейти на отечественное оборудование, разработанное по новейшим технологиям;

2) Создание новой технологии, которая бы обеспечила заинтересованность иностранных потребителей;

### 3.3 Планирование научно-исследовательских работ

#### 3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: бакалавр, в качестве инженера проекта, научный руководитель выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (табл. 3.3)

Таблица 3.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, инженер
	4	Календарное планирование дел по теме кожухотрубчатый теплообменник	Научный руководитель, инженер
Теоретические исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер
	7	Определение целесообразности проведения ВКР	Научный руководитель, инженер

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Продолжение таблицы 3.3

Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	8	На основе расчетов проектирование модели аппарата в КОМПАС 3D	Инженер
	9	Оценка эффективности производства и применения разработки	Инженер
	10	Разработка социальной ответственности по теме	Инженер
Оформление комплекта документации по ВКР	11	Составление пояснительной записки, оформление чертежей	Инженер

### 3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется формула :

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (246)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$  – ой работы, чел. – дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной

$i$  – ой работы, чел. – дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной

$i$  – ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел. – дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (247)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения одной работы, раб.дн.;

$t_{ож}$   $i$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн.;

$\text{Ч}i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчетов занесены в табл. 3.4

Таблица 3.4 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работы	Трудоемкость работы			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел дни	$t_{max}$ , чел дни	$t_{ож}$ , челдни			
1	1	1	1	Руководитель	1	1
2	7	9	8	Инженер	8	10
3	1	2	1	Руков., инженер	1	1
4	1	3	2	Инженер	2	2
5	10	14	12	Инженер	12	14
6	1	2	1	Руководитель	1	2
7	1	2	1	Руков., инженер	1	1
8	1	2	2	Инженер	1	2
9	22	25	23	Инженер	23	28
10	1	1	1	Руководитель	1	1
11	17	21	19	Инженер	19	23
Итого	63	82	71		71	85

На основании таблицы 3.4 построим календарный план-график, который наглядно показывает продолжительность работы исполнителей. План-график показан в таблице 3.5

### 3.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (248)$$

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

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$  – й работы в рабочих днях;

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

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (249)$$

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

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

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48. \quad (250)$$

Таблица 3.5 – План-график проведения работы по теме «Разработка теплообменной аппаратуры для подогрева сырой нефти»

№ работ	Вид работы	Исполнители	Тк <sub>і</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февраль			март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление технического задания	Руководитель	1	█													
2	Изучение материалов	Инженер	10	█													
3	Выбор направления исследования	Руководитель, инженер	1		█												
4	Планирование работ	Инженер	2			█											
5	Проведение расчетов	Инженер	14			█											
6	Проверка расчетов	Руководитель	2				█										
7	Оценка результатов	Руководитель, инженер	1					█									

Продолжение таблицы 3.5

8	Целесообразность ОКР	Инженер	2																
9	Построение чертежей	Инженер	28																
10	Проверка чертежей	Руководитель	1																
11	Составление ПЗ и оформление чертежей	Инженер	23																

Руководитель



Инженер



### 3.3.4 Бюджет научного исследования

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на оборудование;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям: материальные затраты НТИ; затраты на оборудование; основная заработная плата исполнителей темы; дополнительная заработная плата исполнителей темы; отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления); накладные расходы. В таблице 3.6 рассмотрим подробнее статьи материальных затрат.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (253)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

В таблице 3.8 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 3.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
календарное количество дней	365	365
Количество не рабочих дней:		
выходные дни праздничные дни	44 14	48 14
Издержки рабочего времени:		
Отпуск	56	28
невыходы по болезни	2	2
Действительный фонд рабочего времени	249	273

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} * k_{\text{р}} \quad (254)$$

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

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 3.9

Основная заработная плата руководителя (преподавателя ТПУ) с учетом должности доцента и степени кандидата технических наук, и заработная плата инженера в роли студента без районного коэффициента, руб.:

Основная заработная плата рабочих:

- при 5 рабочих днях руководителя: 9139,5 руб.;

- при 65 рабочих днях инженера: 90135,5 руб.

Таблица 3.9 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Зок, руб.	кр	Зм, руб.	Здн, руб	Гр, раб.дн.	Зосн, руб.
Руководитель	33664	1.3	43763,2	1827,9	5	9139,5
Инженер	26000		33800	1386,7	65	90135,5
Итого						99275

#### Дополнительная заработная плата

Расчет дополнительной заработной платы проводится по надлежащей формуле:

$Z_{доп} = Z_{осн} * k_{доп}$ , где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы принимаем 0,12 из диапазона 0,12 – 0,15;

Здоп руководителя: 1096 руб.;

Здоп инженера: 10816 руб. В сумме Здоп = 11912 руб.

В итоге заработная плата работников рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}. \quad (255)$$

для руководителя: 10235,5 руб.;

для инженера: 100951,5 руб.

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

Величина этих отчислений определяется по следующей формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (256)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Тарифы страховых взносов в 2018 году остались на прежнем уровне в соответствии с постановлением Правительства РФ от 26.11.2015 № 1265, т. е. есть общий совокупный тариф все также составляет 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 3.10.

										Лист
										96
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Таблица 3.10 - Отчисления во внебюджетные фонды

Участник	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	9139,5	1096
Инженер-дипломник	90135,5	10816
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	
Итого, руб.	руководитель: 2773; дипломник: 27358	
В сумме	30131 руб.	

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование графических материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, транспортные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{нкл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (257)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов  $k_{\text{нр}}$  допускается взять в размере 16%.

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 3.11.

Таблица 3.11 - Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект.

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
	Исп.1	
1. Материальные затраты НТИ	979	Табл. 3.6
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	-	-
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	99275	Табл. 3.9
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11912	-
5. Отчисления во внебюджетные фонды	30131	Табл. 3.10
6. Затраты на научные и производственные командировки	-	-
7. Контрагентские расходы	-	-
8. Накладные расходы	22767,5	16 % от суммы ст. 1-7
9. Бюджет затрат НТИ	165064,5	Сумма ст. 1- 8

### 3.4 Расчёт производственной мощности

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.

$$M = P_{\text{час.}} * T_{\text{эф.}} * K_{\text{об.}} \quad (258)$$

$$M = 85000 * 8584,8 * 1 = 729708000 \text{ кг/год}$$

Производственная мощность 729708 т/год

где  $P_{\text{час.}}$  - часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

$T_{\text{эф.}}$  - эффективный фонд времени работы оборудования (час.);

$K_{\text{об.}}$  - количество однотипного оборудования, установленного в цехе. Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{ППР}} - T_{\text{ТО}} \quad (259)$$

$$T_{\text{эфф}} = 365 - 7,3 - 0 = 357,7$$

где  $T_{\text{ном.}}$  - номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ППР}}$  - время простоя в ремонтах за расчетный период;

$T_{\text{ТО}}$  - время технологических остановок.;

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}} \quad (260)$$

$$T_{\text{ном}} = 365 - 0 - 0 = 365$$

где  $T_{\text{вых}}$  - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  - количество праздничных дней в году.

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{экс.}} = T_{\text{эф}} / T_{\text{н}} \quad (261)$$
$$K_{\text{экс.}} = \frac{8584,8}{8760} = 0,98$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		98

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{мах}} \quad (262)$$

$$K_{\text{инт}} = \frac{85000}{86000} = 0,99$$

где  $Q_{\text{пп}}$ - производительность единицы оборудования в единицу времени;  $Q_{\text{мах}}$ - максимальная производительность в единицу времени. Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экг}}/K_{\text{и}} \quad (263)$$

$$K_{\text{им}} = \frac{0,98}{0,99} = 0,989$$

Таблица 3.12 - Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени <ul style="list-style-type: none"> <li>• выходные</li> <li>• праздники</li> </ul>	0 (0) 0 (0)
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8760)
Простой оборудования в ремонтах	7,3 (175,2)
Эффективное время работы оборудования за год	357,7 (8584,8)

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ( $N_{\text{год}}$ ):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} * M \quad (264)$$

$$N_{\text{год}} = 0,989 * 729708 = 721681 \text{ т/год}$$

Вывод: максимально возможный годовой выпуск – 729708 т/год; действительный выпуск продукции – 721681 т/год. Установка работает на неполную мощность, степень загрузки равна 98,9

### 3.5 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

1) Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

Таблица 3.13 - Расчет численности персонала

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках
Главный технолог	ИТР	Высшее	1	1
Механик установки	ИТР	Высшее	1	1
Энергетик	ИТР	Высшее	1	1
Инженер КИП	ИТР	Высшее	1	1
Итого:			<b>4</b>	
Старший оператор	Производственный рабочий	6 разр.	4	2
Оператор установки	Производственный рабочий	5 разр.	4	2
Итого:			<b>8</b>	
Дежурный слесарь по ремонту	Ремонтный персонал	4 разр.	4	2
Итого:			<b>4</b>	
Итого:			<b>16</b>	

2) Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника (табл. 3.14).

Таблица 3.14 – Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2.	Нерабочие дни	0	0
3.	Номинальный фонд рабочего времени	365	8760
4.	Планируемые не выходы		
	• Очередные и дополнительные отпуска	36	864
	• Невыходы по болезни	3	72
	• Декретные отпуска	-	-
	• Отпуск в связи с учебной без отрыва от производства	-	-
	Выполнение гос. обязанности	3	72
5.	Эффективный фонд рабочего времени	323	7752

3) Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (265)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  - основной фонд заработной платы рабочих, тыс. руб;

$Z_{\text{доп}}$  - дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + \text{Пр} + \text{Дн.вр} + \text{Дпр.дни} + \text{Дбриг} \quad (266)$$

где  $Z_{\text{тар}}$ - тарифный фонд заработной платы, тыс. руб;

Пр - оплата премий, тыс. руб;

Дн.вр- доплата за работу в ночное время, тыс. руб;

Дпр. дни - доплата за работу в праздничные дни, тыс. руб;

Дбриг - доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{\text{тар}} = \sum Ч_{\text{сп}} * T_{\text{ст}} * T_{\text{эф.раб}} \quad (267)$$

где  $Ч_{\text{сп}}$  - списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

$T_{\text{сп}}$  - дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Размер премий принимаем равным 20-70 % от тарифного фонда заработной платы.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 40 %.

Дополнительная зарплата ( $Z_{\text{доп}}$ ):

$$Z_{\text{доп}} = (\text{Дн} * Z_{\text{осн}}) / T_{\text{эфф}} \quad (268)$$

где Дн - количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

Районный коэффициент для г. Томска - 1,3. Отчисления на социальные нужды на зарплату - 30 % от ( $Z_{\text{осн}}+Z_{\text{доп}}$ )

					ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101



### 3.7 Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (721681 т/год)

Таблица 3.17 - Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства 721681 т/год

Статьи затрат	Единицы измерения	Затраты тыс. руб.	
		На 1 т.	На весь год
1. Сырье	Тыс. руб.	25	18042025
2. Энергия на технологические нужды	Тыс. руб.	18,5	13351098,5
3. З/П основных произв. рабочих	Тыс. руб.	0,02071	14946,2
4. Отчисления на СН(30%)	Тыс. руб.	0,0062	4474,4
<b>5. Итого условно-переменных издержек</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>43,52691</b>	<b>31412543,9</b>
6. Общепроизводственные накладные расходы	Тыс. руб.		
7. РСЭО:	Тыс. руб.		
8. -Амортизация оборудования	Тыс. руб.	0,0097	7020
9. -Ремонт оборудования	Тыс. руб.	0,0024	1755
10. -Заработная плата ремонтного персонала	Тыс. руб.	0,0057	4155
11. -Отчисления на соц.нужды ремонтного персонала(30%)	Тыс. руб.	0,0017	1246,5
12. 5.2 Заработная плата ИТР	Тыс. руб.	0,0141	10244,9
13. -Отчисления на соц.нужды ИТР(30%)	Тыс. руб.	0,0042	3037,47
14. Итого условно-постоянных издержек	Тыс. руб.	0,038	27458,87
<b>15. Цеховая (производственная) себестоимость (1+2+3+4+5)</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>43,564</b>	<b>31440002,8</b>
16. Управленческие расходы (5% от цеховой себестоимость)	Тыс. руб.	2,178	1572000,14
<b>17. Заводская себестоимость(цеховая себестоимость + стр.6)</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>45,742</b>	<b>33012002,9</b>
18. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимость)	Тыс. руб.	0,45742	330120,029
19. Полная себестоимость (заводская себестоимость + стр.7)	Тыс. руб.	46,2	33342122,9
<b>Условно-переменные издержки</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>43,52691</b>	<b>31412543,9</b>
<b>Условно-постоянные издержки</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>2,67249</b>	<b>1929579</b>

### 3.8. Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100), \quad (269)$$

где C - полная себестоимость единицы готовой продукции;

P - рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$$Ц = 46,2 * 1,25 = 57,75 \text{ тыс. руб./т} \quad (270)$$

#### 3.8.1 Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа - определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ( $B_{пр}$ ) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{\text{Изд}_{\text{пост}}}{Ц_{1ГП} - \text{Изд}_{1ГП}} \quad (271)$$

$$Q_{кр} = \frac{1929579}{57,75 - 43,52691} = 135665 \text{ т.}$$

где Ц<sub>1ГП</sub> - цена единицы готовой продукции (1 тонны);

Изд<sub>1ГП</sub> - удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции - 1 тонну).

2. Графическим способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 3.1.

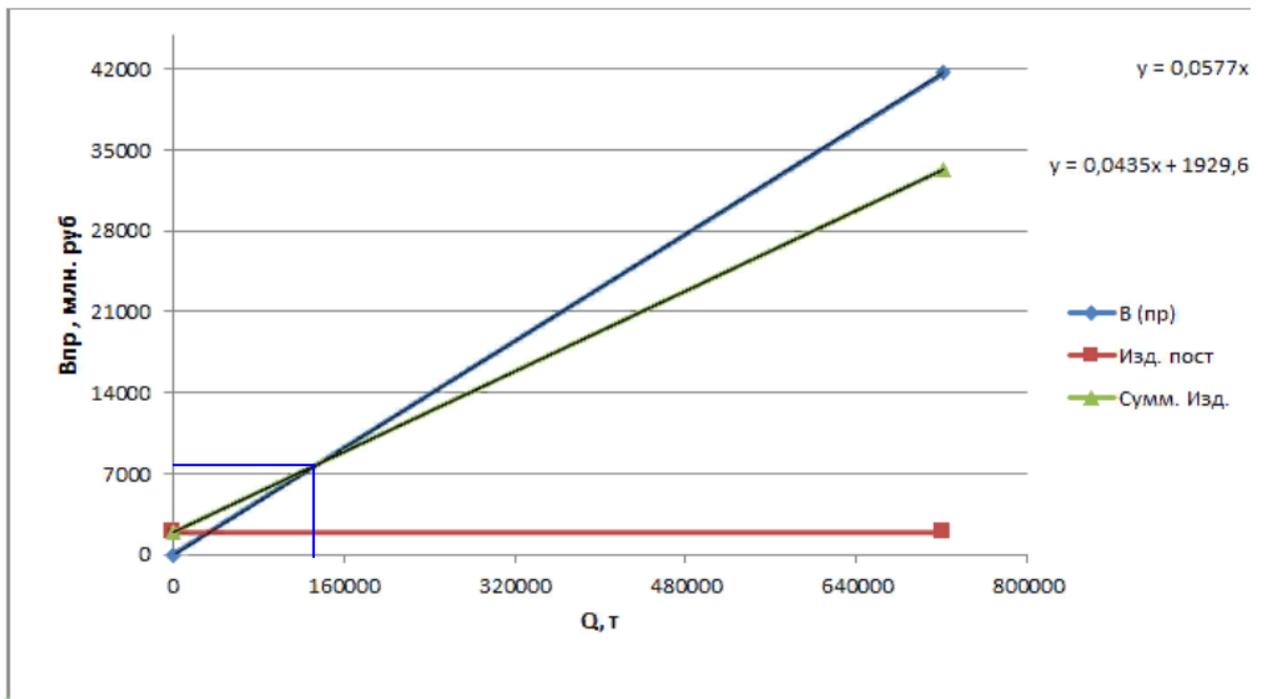


Рисунок 3.1 – График безубыточности

$Q_{кр} = 7840$  тыс.руб

$Q_{кр} = 134,4$  тыс.т

### 3.9. Определение технико-экономических показателей

Таблица 3.18 - Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	Тыс. т	721,681
2. Объем продаж	Тыс. т	721,681
3. Цена 1 тонны	Тыс. руб.	57,75
4. Выручка от продажи (2*3)	Тыс. руб.	41677077,8
5. Суммарные издержки	Тыс. руб.	33342122,9
5.1. Издержки переменные	Тыс. руб.	31412543,9
5.2. Издержки постоянные	Тыс. руб.	1929579
6. Операционная прибыль	Тыс. руб.	8334954,9
7. Налог на прибыль (6*20%)	Тыс. руб.	1666990,98
8. Чистая прибыль (6-7)	Тыс. руб.	6667963,92
9. Себестоимость 1 тонны	Тыс. руб.	46,2
10. Стоимость основных средств	Тыс. руб.	8120000
11. Численность основных рабочих	Чел.	16
12. Фондовооруженность (10/11)	Тыс. руб./чел.	5075
13. Фондоотдача(4/10)	Руб./руб.	5,13
14. Фондоемкость (10/4)	Руб./руб.	0,194
15. Производительность труда (4/11)	Тыс. руб./чел.	2604817,36
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	20
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	16
18. Критический объем продаж (Qкр.)	Тыс. т	134,4
19. Критический объем продаж (Qкр.)	Тыс. руб.	7840

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ

Лист

106

## 4 Социальная ответственность

В данной дипломной работе производится расчет теплообменного оборудования для подогрева сырой нефти. Обеспечение безопасности условий работы достигается путем поддержания оборудования и технических средств в исправном состоянии, своевременным ремонтом, герметизацией аппаратов, поддержанием режима, утвержденного в технологическом регламенте для установки.

Область применения для данного кожухотрубчатого теплообменника – нефтяная промышленность.

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации данных аппаратов.

### 4.1 Правовые и организационные вопросы 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. [22].

Управление охраной труда осуществляет блок федеральных органов исполнительной власти, руководимый Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации (Минздравсоцразвития). Оно осуществляет функции государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере здравоохранения и социального развития, социального страхования, условий и охраны труда и т. д.

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Выполнил</i>	<i>Чернов А.В.</i>				<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Тихонов В.В.</i>					<i>Д</i>	<i>107</i>	<i>10</i>
						<i>ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4К51</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>								

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. 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.

Федеральный закон “О радиационной безопасности населения” (1995) характеризует правовые основы обеспечения радиационной безопасности населения в целях охраны его здоровья.

## 4.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации данного прибора. Выбор факторов производится с использованием [23]. Выявленные факторы перечислены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации кожухотрубчатого теплообменника

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Повышенный уровень вибрации;		+	+	ГОСТ 26568-85. Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация
2.Повышенный уровень шума;		+	+	ГОСТ 12.4.011-89 (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
3.Электрический ток;		+	+	ГОСТ 12.4.011-89 (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
4.Повышенная температура поверхности оборудования;		+	+	ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки.

Анализ вредных выявленных факторов при разработке, изготовлении и эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника

Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией [24].

### 1.Повышенный уровень вибрации

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.

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 [25].

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

Создание вибробезопасных машин должно обеспечиваться применением методов, снижающих вибрацию в источнике возбуждения.

## 2.Повышенный уровень шума

Шум непосредственно связан с вибрацией. В теплообменнике проходят потоки воды, при этом поток многократно меняет своё направление, постоянно ударяясь о стенки и перегородки аппарата. Кроме того, основной шум создают насосы, которые и перекачивают потоки горячей и холодной воды.

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

Шумы создаются работающими приборами, вентиляторами. В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно. Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с [26]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА.

В качестве средств индивидуальной защиты от шума в зависимости от конструктивного исполнения используются [26]:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски; противошумные костюмы.

Анализ опасных выявленных факторов при разработке, изготовлении и эксплуатации проектируемого кожухотрубчатого теплообменника

## 3.Электрический ток

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		110

При сборке, настройке, подключении и эксплуатации разрабатываемого устройства возможно поражение электрическим током, что является опасным фактором

Согласно требованиям конструкция производственного оборудования, приводимого в действие электрической энергией, должна включать устройства (средства) для обеспечения электробезопасности.

Технические средства и способы обеспечения электробезопасности (например, ограждение, заземление, зануление, изоляция токоведущих частей, защитное отключение и др.) должны устанавливаться в стандартах и технических условиях на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок) с учетом условий эксплуатации и характеристик источников электрической энергии.

Производственное оборудование должно быть выполнено так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве, представляющем опасность для работающего, и исключить возможность пожара и взрыва .

- Основные способы и средства электрозащиты:
- изоляция токоведущих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;
- зануление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электрозащиты [27].

#### 4.Повышенная температура поверхности оборудования.

На теплообменник необходимо установить защитный экран для предотвращения разбрызгивания жидкости в случае выхода из строя прокладок, а также от воздействия факторов. Защитный экран может быть изготовлен из листа оцинкованной или нержавеющей стали толщиной от 0,5 до 0,8 мм и размещается между пакетом пластин и шпильками, стягивающими теплообменник. Защитный экран в комплект поставки не входит [27].

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		111

При необходимости нахождения людей вблизи горячих частей оборудования должны быть приняты меры по их защите ожогов и действия высокой температуры (ограждение действующего оборудования, вентиляция, спецодежда и т.п.) [28].

Все горячие части оборудования, трубопроводы, баки и другие элементы, прикосновение к которым может вызвать ожоги, должны иметь тепловую изоляцию. Температура на поверхности изоляции при температуре окружающего воздуха 25 град. С должна быть не выше 45 град. С. Окраска, условные обозначения, размеры букв и расположение надписей должны соответствовать правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды [29].

Трубопроводы агрессивных, легковоспламеняющихся, горючих, взрывоопасных или вредных веществ должны быть герметичными. В местах возможных утечек (краны, вентили, фланцевые соединения) должны быть установлены защитные кожухи, а при необходимости - специальные устройства со сливом из них продуктов утечек в безопасное место [29].

### **4.3 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.

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.

#### 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 надежными и эффективными не примерзающими предохранительными клапанами;
- хранение нефти в резервуарах предусмотрено под «азотной подушкой»;
- предусмотрены насосы с двойными торцевыми уплотнениями;
- 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 углеводородов;

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		113

- 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.

## 2. Основные мероприятия по защите поверхностных вод

Для защиты поверхностных вод предусмотрены следующие мероприятия:

- открытая дренажная система поверхностных стоков;
- открытая дренажная система опасных стоков;
- закрытая дренажная система;
- 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;
- проведение гидрогеологического контроля за предотвращением истощения эксплуатационных запасов подземных вод;
- размещение проектируемого объекта вне водоохраных зон рек и озер.

## 3. Основные мероприятия по охране почв

Для защиты почв при эксплуатации месторождения предусмотрены следующие мероприятия:

- выполнение строительных работ исключительно в пределах монтажной площадки;
- 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;

## 4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Перечень возможных чрезвычайных ситуаций на объекте

### 1. Пожарная и взрывная опасность

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		114

Нефть относят к классу 3,1 ЛВЖ с температурой вспышки менее +40°C[30]. При работе оборудования нельзя допускать открытого огня, искр и курения.

При сливно-наливных операциях следует строго соблюдать правила защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Производственные помещения, в которых ведутся работы с нефтью, должны быть обеспечены приточно-вытяжной вентиляцией, а оборудование-местными отсосами. В помещениях для хранения и применения нефти запрещается обращение с открытым огнем, а также использование инструментов, дающих при ударе искру. Электрооборудование и искусственное освещение должно быть выполнено во взрывобезопасном исполнении.

Для тушения нефти необходимо применять химическую и воздушно-механическую пену. Для тушения небольших очагов горения применяют ручные пенные или углекислотные огнетушители.

Меры по ликвидации чрезвычайных ситуаций и последствий

1.1 Действия работников при возникновении аварий и аварийных ситуаций.

Действия персонала определяются [31].

Для обеспечения безаварийной работы установки и достижения минимального уровня взрывопожароопасности процесса предусмотрены следующие мероприятия:

- все стадии технологического процесса непрерывны и склонны к устойчивому протеканию;
- применяемые, обращающиеся и получаемые вещества не обладают способностью быстро и спонтанно полимеризоваться, реагировать с водой, саморазогреваться и самовоспламеняться.
- на установке отсутствуют открытые поверхности аппаратов и трубопроводов с температурой выше температуры самовоспламенения обрабатываемых веществ;
- контроль и управление процессом осуществляется автоматически и дистанционно из операторной с использованием электронной системы приборов;
- на наружной установке, где расположено оборудование, в котором обращаются взрывопожароопасные вещества, предусмотрены датчики загазованности, сигналы от которых поступают в операторную.

1.2 Способы и средства пожаротушения

В соответствии с требованием норм по пожаротушению на установке должны быть предусмотрены первичные и стационарные средства пожаротушения, а также пожарная сигнализация.

На установке предусмотрены следующие средства пожаротушения:

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		115

- первичные средства пожаротушения (огнетушители – пенные ОХП-10, корюшковые ОПУ-10, ОПС-10г, углекислотные ОУ-5, ОУ-8; кошмы, ящики с песком, лопаты и т.д.);
- стационарная система пенотушения открытой насосной;
- водяная оросительная система колонных аппаратов;
- пожарные краны в помещении компрессорной [32].

## 2. Безопасность при чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации (ЧС) - совокупность таких обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями, поражениями людей, изменением экологической обстановки.

К чрезвычайным ситуациям относятся: производственные аварии, стихийные бедствия, военные конфликты.

Стихийные бедствия - ураганы, наводнения, землетрясения предотвратить нельзя, поэтому, отключив электричество в здании, его необходимо покинуть или спуститься в подвальное помещение (бомбоубежище).

При возникновении военного конфликта нужно эвакуировать из здания людей или спуститься в подвал (бомбоубежища).

Эвакуационные пути - это пути, ведущие к эвакуационным выходам. Наиболее распространенными путями эвакуации являются проходы, коридоры, фойе и лестницы.

Самое главное - при любой чрезвычайной ситуации сохранять спокойствие и не забывать отключить электроэнергию и электроприборы. Иначе, это приведет к ещё большим разрушениям.

При поступлении сигнала об угрозе нападения противника все работники лаборатории должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, после чего должны удалиться в убежище согласно плану эвакуации из помещения .

### **Вывод:**

Теплообменник кожухотрубчатый спроектирован в соответствии с требованиями [33].

Герметичность технологической обвязки узлов исключает загрязнение воздуха рабочей зоны вредными и взрывоопасными веществами в соответствии с [34, 35] и исключает недопустимые тепловыделения.

					<i>ФЮРА.АПСН.000.000.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		116

## **Заключение**

В ходе данной работы был рассчитан кожухотрубчатый теплообменник.

Произведен технологический расчет, в результате которого была рассчитана поверхность теплообмена. Выполнен конструктивный расчет с определением габаритов аппарата. Осуществлен механический расчет, в котором определены толщины цилиндрической обечайки, трубной решетки, эллиптической крышки и распределительной камеры, произведена проверка необходимости укрепления отверстий, рассчитано фланцевое соединение, подобраны неподвижные и подвижные седловые опоры. Выполнен расчет гидравлических сопротивлений и подбор насоса. Произведен расчет тепловой изоляции.

В разделе «Социальная ответственность» провел анализ вредных и опасных факторов, связанных с работой на данном аппарате. Так же обосновал мероприятия по снижению вредного воздействия этих факторов на окружающую среду.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была проведена оценка рентабельности проекта, проанализированы сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности.

## Список литературы

1. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков - М.: ООО ИД «Альянс», 2007. - 576с.
2. ТУ 3612-024-00220302-02. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые аппараты с температурным компенсатором на кожухе. -М.: ОАО "ВНИИнефтемаш", 2002. - 112с.
3. ГОСТ Р 34233.1- 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. - М.: Стандартиформ, 2018. - 30с.
4. ГОСТ Р 34233.2- 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. - М.: Стандартиформ, 2018. - 54с.
5. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент (с Изменениями N 1, 2). - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. -9с.
6. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Ч. 1. Учеб. Пособие. - Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2003. - 118с.
7. ГОСТ Р 55601-2013. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках. Общие технические требования. -М.: Стандартиформ, 2013. - 50с.
8. Лацинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. / А.А. Лацинский, А.Р. Толчинский - Л.: Машиностроение, 1970. - 752с.
9. ГОСТ Р 34233.7 - 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты. -М.: Стандартиформ, 2018. - 54с.
10. РД РТМ 26-01-141-82 Камеры греющие выпарных аппаратов с трубными решетками, имеющими отбортованные кромки отверстий. Расчет на прочность. - М.: НИИхиммаш, 1983. - 21с.
11. ГОСТ Р 34233.6 - 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках.- М.: Стандартиформ, 2018. -19с.
12. ГОСТ 6533-78\*. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры.- М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 78. - 26 с.
13. ГОСТ 15180-86. Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1993. - 12с.
14. ГОСТ Р 34233.3- 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем

давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. - М.: Стандартиформ, 2018. - 41с.

15. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент (с Изменением N 1) -М.: Изд-во стандартов, 1991. - 7с.

16. ГОСТ Р 34233.4- 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. - М.: Стандартиформ, 2018. - 42с.

17. ГОСТ 34233.5- 2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. М.: Стандартиформ, 2018. - 31с.

18. ГОСТ 31842-2012. Межгосударственный стандарт. Нефтяная и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования. - М.: Стандартиформ, 2013. - 34с.

19. Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. / М.Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301с.

20. В.М.Беляев, В.М.Миронов "Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли. Ч.1.: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств". - Томск: Изд - во Томского политехнического университета, 2016. - 313с.

21. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36с.

22. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). Статья 354.

23. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартиформ, 2016. - 9с.

24. Кожухотрубные теплообменники. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://docplayer.ru/27731520-Kozhuhotrubnye-teploobmenniki-instrukciya-po-ekspluatacii-i-tehnicheskomuobslužhivaniyu.html> (дата обращения - 25.03.19.)

25. ГОСТ 26568-85. Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация. (с Изменением N 1). - М.: Издательство стандартов, 1987. - 11с.

26. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. - М.: Стандартиформ, 2015. - 28с.

27. ГОСТ 12.4.011-89. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. - 6с.

28. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. - 9с.

29. ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. - 17с.

30. Назаренко О. Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О. Б. Назаренко, Ю. А. Амелькович; Томский политехнический университет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 178 с.

31. СНиП 21-01-97\* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2). - М.: ГУП ЦПП, 2002. - 36с.

32. Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. Приказ от 27 декабря 2012 года N 784 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/542627299> (дата обращения 25.03.2019).

33. Приказ Ростехнадзора от 25.03.2014 N 116 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/542627299> (дата обращения 25.03.2019).

34. Ибрагимов Г.З., Артемьев В.Н. Техника и технология добычи и подготовки нефти и газа. – М.: МГОУ, 2005. – 243с.

35. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: ООО «Издательский дом Альянс», 2015. – 753с.

## Приложение А

(справочное)

Таблица А.1 – Сводная таблица заработной платы основного персонала

Наименование профессий	Списочная численность	Тарифный разряд	Тарифная ставка за день, руб.	Номин. Фонд рабочего времени всех рабочих в год, ч	Основной фонд заработной платы, тыс. руб.					Дополнительный фонд з/п, тыс. руб.	Общий годовой фонд з/п, тыс. руб.	Общий фонд з/п с учетом районного коэффициента, тыс.руб.
					Тариф. фонд	Премия	Доплата за ночное время	Доплата за работу в праздники	Итого			
	Чсп		Тст	Нф=360*Чсп	Зтар=Чсп*Тст*Тэф	Пр=Зтар*10%	Дн.вр = Зтар*40%	Дпр.дн. = Зтар*0,3	Зосн=Зтар+Пр+Днвр+Дпрдн	Здоп = Зосн*10%	Зобщ.=Здоп+ Зосн	Зобщ*К; К=1,3
ИТР	4	6	3123	1440	3972,4	397,24	1588,96	1191,72	7150,3	715,03	7865,33	10244,9
Старший оператор	4	5	2578	1440	3279,2	327,92	1311,68	983,76	5902,6	590,26	6492,86	8440,7
Оператор установки	4	4	1987	1440	2527,4	252,74	1010,96	758,22	4549,3	454,93	5004,23	6505,5
Ремонтный персонал	4	4	1269	1440	1614,2	161,42	645,68	484,26	2905,6	290,56	3196,16	4155
Итого	16	-	-	-	11393,2	1139,32	4557,28	3417,96	20508	2050,8	22558,8	29346,1