

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
<b>Разработка теплообменника для подогрева газообразного этилена установки дестанизации этан-этиленовой фракции</b>

УДК 66.045.1-047.84:661.716.041.132

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Трубинов Алексей Витальевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов Н.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		

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	Трубинову Алексею Витальевичу

Тема работы:

Разработка теплообменника для подогрева газообразного этилена установки деэтаннизации этан-этиленовой фракции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.02.2019 №1235/с
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>Расчет теплообменника для подогрева этилена газа от -29 °С до 5 °С;          Сырье: газы (этилен, пропилен);          Начальная температура теплоносителя: 70 °С.</p>
---	--

<p><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></p>	<p>Реферат;  Введение;  1 Описание технологической схемы;  2 Технологический расчет;  3 Механический расчет;  4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;  5 Социальная ответственность;  Заключение;  Список литературы.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Общий вид теплообменного аппарата А1  Лист 2 – Общий вид теплообменного аппарата А1  Лист 3 – Технологическая схема А2  Лист 4 – Техничко-экономические показатели А2</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Механический расчет оборудования</p>	<p>Беляев Василий Михайлович</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Креницына Зоя Васильевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Скачкова Лариса Александровна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p> </p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Трубинов Алексей Витальевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4К51	Трубинову Алексею Витальевичу

<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>2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></p> <p>3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</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>
---	---

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

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

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

<p>1. <i>Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами;</i></p> <p>2. <i>Определение технико-экономических показателей.</i></p>
---

<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	Трубинов Алексей Витальевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4К51	Трубинову Алексею Витальевичу

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

Тема ВКР:

Разработка теплообменника для подогрева газообразного этилена установки деэтаннизации этан-этиленовой фракции	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	В работе рассматривается проект кожухотрубного теплообменника для подогрева газообразного этилена для использования в производственных условиях. Областью применения являются нефтеперерабатывающие предприятия.
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.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Трудовой кодекс РФ;</li> <li>- ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»;</li> <li>- ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;</li> <li>- СанПиН 2.2.4.3359-16;</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Превышение уровня шума</li> <li>- Отклонение показателей микроклимата</li> <li>- Повышенное значение напряжения в электрической цепи,</li> </ul>

2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействию	замыкание которой может произойти через тело человека – Вибрация на рабочих местах
<b>3. Экологическая безопасность:</b> -анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу(отходы)	– На окружающую среду вредного влияния не оказывается.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	- Пожароопасная ситуации; - Поражения рабочего персонала электрическим током.

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	Трубинов Алексей Витальевич		

## 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>		
P1	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)
P2	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)
P3	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)
P4	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)
P5	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)
P6	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>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	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)



## Реферат

Выпускная квалификационная работа 112 с., 14 рис., 21 табл., 37 источников, 2 листа графического материала формата А1, 2 листа графического материала формата А2.

Ключевые слова: теплообменник, вертикальный, кожухотрубный, неподвижные решетки, газообразный этилен.

Объектом исследования является кожухотрубный теплообменник.

Цель работы – Расчет по исходным данным теплообменного аппарата для подогрева газообразного этилена.

В результате исследования были выполнены все необходимые расчеты для конструирования аппарата, получены основные размеры и механические характеристики.

Основные характеристики: внутренний диаметр аппарата 600 мм, длина 4881 мм, толщина стенки 6 мм, количество труб 257, количество ходов 1, штуцер по трубному пространству 350 мм, штуцер по межтрубному пространству 300 мм.

Степень внедрения: подогрев газообразного этилена крупнотоннажного производства этилена, пропилена и сопутствующих продуктов.

Область применения: нефтеперерабатывающая промышленность.

## **The Abstract**

Graduation qualification work contains 112 pages, 14 images, 21 tables, 37 source, 2 sheets of graphic material form A1, 2 sheets of graphic material form A2.

Keywords: heat exchanger, vertical, shell-and-tube, fixed grilles, ethylene gas.

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

Purpose of the work - Calculation based on the initial data of a heat exchanger for heating ethylene gas.

As a result of the study, all the necessary calculations for the design of the apparatus were carried out, the main dimensions and mechanical characteristics were obtained.

The main characteristics are: internal diameter of the apparatus is 600 mm, length is 4881 mm, wall thickness is 6 mm, the number of pipes is 257, the number of strokes is 1, the fitting over the tube space is 350 mm, the fitting over the annular space is 300 mm.

Degree of implementation: heating ethylene gas of large-scale production of ethylene, propylene and related products.

Application area: oil refining industry.

## Оглавление

Введение.....	13
1 Описание технологической схемы.....	14
2 Технологический расчет.....	17
2.1 Тепловые расчеты.....	17
2.2 Ориентировочный расчет и подбор теплообменника .....	19
2.3 Уточненный расчет.....	20
2.4 Гидравлический расчет .....	24
2.5 Расчет толщины изоляции .....	25
2.6 Расчет диаметров патрубков.....	26
3 Механический расчет .....	28
3.1 Выбор материала.....	28
3.2 Расчетная модель .....	28
3.3 Расчет температурных деформаций.....	30
3.4 Расчет обечайки корпуса аппарата.....	32
3.5 Расчет толщины стенки эллиптического днища.....	37
3.6 Расчет и подбор патрубков и фланцев .....	40
3.7 Расчет укрепления отверстия под штуцер.....	45
3.8 Поверочный расчет кожухотрубного теплообменного аппарата.....	46
3.9 Расчет фланцевого соединения .....	61
3.10 Расчет массы пустого и заполненного аппарата. Подбор опор.....	76
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	79
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	79
4.2 SWOT-анализ .....	80
4.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	81
4.4 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству получения товарного этилена .....	90
4.5 Анализ безубыточности по действующему производству .....	95
4.6 Определение технико-экономических показателей .....	96
Вывод по разделу.....	97
5 Социальная ответственность.....	98
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	98
5.2 Производственная безопасность .....	99

5.3 Экологическая безопасность .....	103
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	104
Вывод по разделу.....	105
Заключение.....	107
Список литературы .....	108

## **Введение**

ПАО «СИБУР Холдинг» является на сегодняшний день самой крупной нефтехимической компанией в России. Компания занимается переработкой попутного нефтяного газа и производством олефинов, полиолефинов, пластиков, эластомеров и др.

В дипломной работе рассматривается производство товарного этилена дочернего предприятия СИБУРа – ООО «Томскнефтехим». На данном производстве в основе технологии получения этилена используется высокотемпературный пиролиз рецикловой этан-этиленовой фракции с получением пирогаза различного состава. Извлечение этилена и побочных продуктов (водородной и метановой фракций, пропилена и др.) из пирогаза с применением ректификации различных уровней температуры.

Актуальность дипломной работы заключается в снижении конечной себестоимости производства, что позволит увеличить конкурентоспособность предприятия на отечественном и мировом рынке.

Объектом исследования является крупнотоннажное производство этилена, пропилена и сопутствующих продуктов методом пиролиза бензиновых фракций.

Предмет исследования – теплообменное оборудование для подогрева газообразного этилена.

Целью данной работы является разработка теплообменного аппарата в качестве замены действующему на производстве для повышения экономической эффективности производства.

# 1 Описание технологической схемы

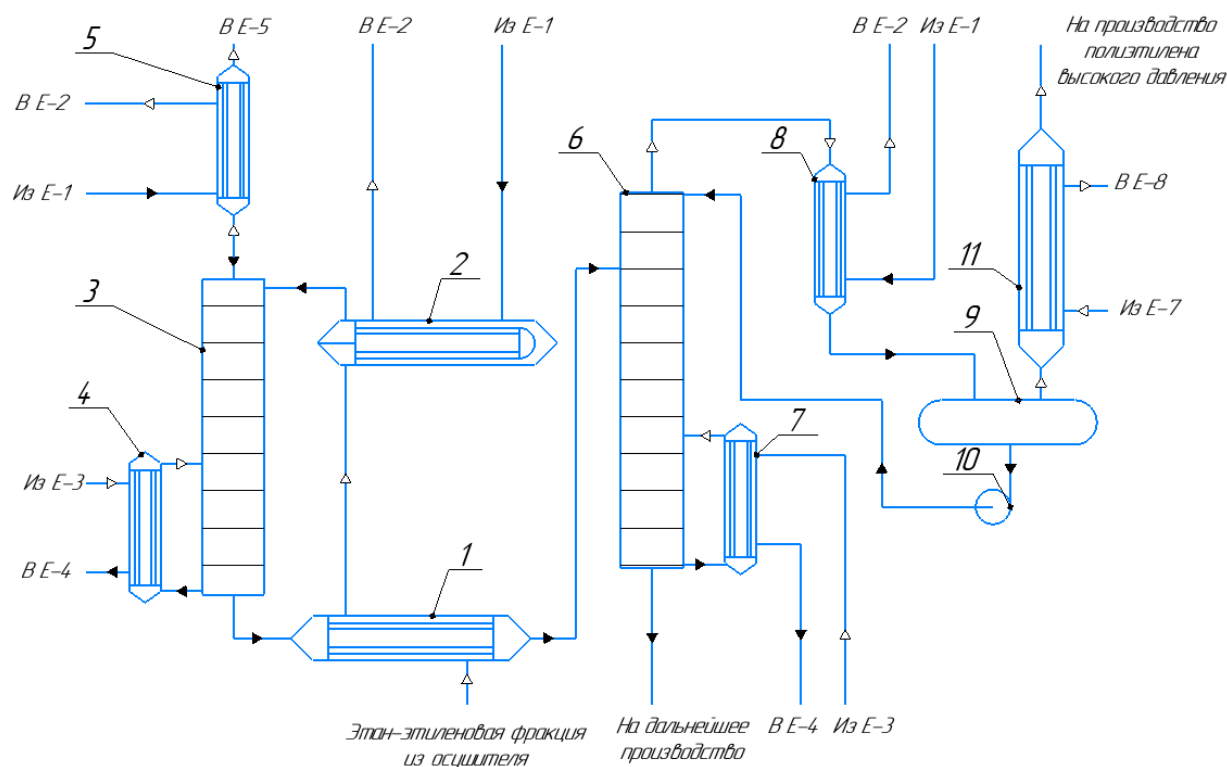


Рисунок 1.1 – Технологическая схема

1 – теплообменник Т-1; 2 – теплообменник Т-2; 3 – колонна К-1; 4 – кипятильник Т-3; 5 – дефлегматор Т-4; 6 – колонна К-2; 7 – кипятильник Т-5; 8 – дефлегматор Т-6; 9 – флегмовая емкость Е-6; 10 – насос Н-1; 11 – теплообменник Т-7.

Этан-этиленовая фракция в виде газа подается из осушителей в межтрубное пространство теплообменника Т-1, где происходит охлаждение кубовым остатком колонны К-1 до температуры  $-14^{\circ}\text{C}$ . Далее этан-этиленовая фракция идет в трубное пространство теплообменника Т-2, где происходит охлаждение и частичная конденсация пропиленом-хладогентом из сепаратора Е-1, который начинает кипеть при температуре  $-37^{\circ}\text{C}$  в межтрубном пространстве теплообменника.

Пары пропилена-хладогента из теплообменника Т-2 отводятся в сепаратор Е-2.

Парожидкостная этан-этиленовая фракция после теплообменника Т-2 поступает в колонну К-1 в качестве питания.

В колонне К-1 происходит отдувка метано-водородной фракции из смеси этан-

					ФЮРА.065111.001 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Студент	Трубинов А.В.				Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Тихонов Н.В.				Д	14	3
Конс.					Технологическая схема ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М.Кижнера Группа 4К51		
Н. Контр.							
Руков. ООП	Беляев В.М.						

этиленовой фракции.

Технологические параметры колонны К-1:

Температура верха колонны, °С	-(14 ÷ 40)
Температура куба колонны, °С	-(9 ÷ 25)
Давление в колонне, МПа	(2,3 ÷ 2,7)

В куб колонны К-1 осуществляется подвод тепла через кипятильник Т-3. В межтрубное пространство кипятильника Т-3 из сепаратора Е-3 подается газ пропилен, который конденсируется при температуре 6°С, после чего жидкий пропилен из кипятильника Т-3 отводится в сборник Е-4.

Пары этан-этиленовой фракции, поднимаясь по колонне К-1, попадают в дефлегматор Т-4, где происходит их конденсация за счет испарения пропилена-хладоагента из Е-1, кипящего при температуре -37°С в межтрубном пространстве дефлегматора Т-4.

Пары пропилена-хладоагента из дефлегматора Т-4 отводятся в сепаратор Е-2.

Из дефлегматора Т-4 конденсат этан-этиленовой фракции стекает в качестве орошения в колонну К-1.

Пары этан-этиленовой фракции, метана и водорода отводятся в сепаратор Е-5.

Жидкая этан-этиленовая фракция из куба колонны К-1 проходя через трубное пространство теплообменника Т-1 подается в качестве питания на контрольную тарелку в колонну К-2.

В колонне К-2 происходит выделение товарного этилена из этан-этиленовой фракции.

Технологические параметры колонны К-2:

Температура верха колонны, °С	-(28 ÷ 35)
Температура куба колонны, °С	-(2 ÷ 9)
Температура контрольной тарелки, °С	-(5 ÷ 14)
Давление в колонне, МПа	(1,7 ÷ 2,1)

В куб колонны К-2 осуществляется подвод тепла через кипятильник Т-5. В межтрубное пространство кипятильника Т-5 из сепаратора Е-3 подается газ пропилен, который конденсируется при температуре 6°С, после чего жидкий пропилен из кипятильника Т-3 отводится в сборник Е-4.

Этановая фракция из куба колонны К-2 отправляется на дальнейшее производство.

С верха колонны К-2 газообразный этилен подается в дефлегматор Т-6, где частично конденсируется пропиленом-хладоагентом из Е-1, кипящим при температуре -37°С.

Пары пропилена-хладоагента из дефлегматоров Т-6 отводятся в сепаратор Е-2.

									Лист
									15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Газожидкостная смесь этилена из дефлегматора Т-6 подается во флегмовую емкость Е-6.

Жидкий этилен из емкости Е-6 насосом Н-1 подается в колонну К-2 в качестве орошения.

Газообразный этилен с верха емкости Е-6 поступает в трубное пространство теплообменника Т-7, где нагревается до температуры 5°C пропиленом холодильного цикла из Е-7, и далее направляется на производство полиэтилена высокого давления.

Пропилен холодильного цикла из теплообменника Т-7 отводится в сепаратор Е-8.

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



## 2 Технологический расчет теплообменника для подогрева газообразного этилена

### 2.1 Тепловой расчет

#### Исходные данные:

Производительность по товарному этилену: 38215 кг/ч;

Газообразный этилен (2,0 МПа);

Теплоноситель - пропилен холодильного цикла (1,5 МПа);

Подогрев товарного этилена происходит до 5 °С;

При 1.5 МПа температура греющего пара ~ 70 °С;

Начальная и конечная температура холодного теплоносителя, °С:

$$t_{хн} := -29$$

$$t_{хк} := 5$$

Начальная и конечная температура горячего теплоносителя, °С:

$$t_{гн} := 70$$

$$t_{гк} := 23$$

Плотность этилена, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{эт} := 1.18$$

Плотность пропилена, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{пр} := 1.78$$

При массовом расходе этилена 38215 кг/ч = 10.615 кг/с и плотности 1.18 кг/м<sup>3</sup>,  
объемный расход равен 32385,6 м<sup>3</sup>/ч = 8.996 м<sup>3</sup>/с.

Разделим поток на 4 равные части по регламенту, тогда:

Массовый расход этилена, кг/с:

$$G_2 := \frac{10.615}{4} = 2.654$$

Объемный расход этилена, м<sup>3</sup>/с:

$$V_{эт} := \frac{8.996}{4} = 2.249$$

					ФЮРА.065111.001 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Студент	Трубинов А.В.				Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Тихонов Н.В.				Д	17	11
Конс.					Технологический расчет ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М.Кижнера Группа 4К51		
Н. Контр.							
Руков. ООП	Беляев В.М.						

Удельная теплоемкость этилена, Дж/(кг·К):

$$c_{\text{эт}} := 1881$$

Удельная теплоемкость пропилена, Дж/(кг·К):

$$c_{\text{пр}} := 1315$$

Количество теплоты, которое необходимо сообщить холодному теплоносителю, Вт:

$$Q_x := c_{\text{эт}} \cdot G_2 \cdot (t_{\text{хк}} - t_{\text{хн}}) = 1.697 \times 10^5 \quad (2.1)$$

С учетом потерь 5%

$$Q_{x1} := Q_x \cdot 1.05 = 1.782 \times 10^5$$

По уравнению теплового баланса массовый расход пропилена, кг/с:

$$G_1 := \frac{Q_{x1}}{c_{\text{пр}} \cdot |t_{\text{гк}} - t_{\text{гн}}|} = 2.883 \quad (2.2)$$

Объемный расход пропилена, м<sup>3</sup>/с:

$$V_{\text{пр}} := \frac{G_1}{\rho_{\text{пр}}} = 1.62 \quad (2.3)$$

Температурная схема процесса:

$$t_1' = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1'' = 23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2' = -29 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2'' = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

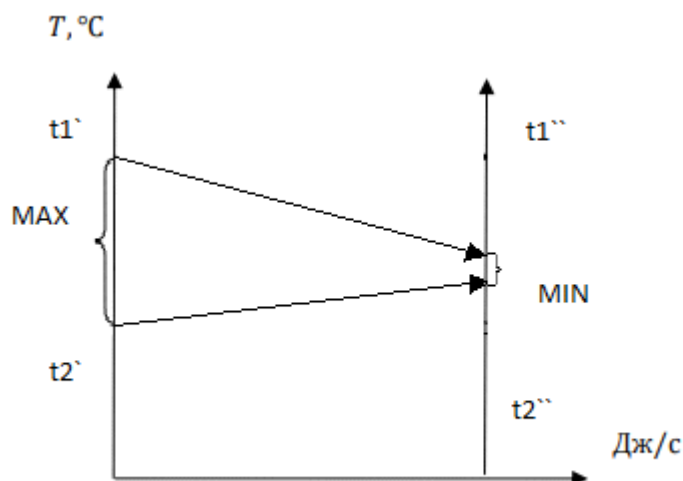


Рисунок 2.1 – Температурная схема процесса

Рассчитаем большую и малую разность температур на концах теплоносителей [1], °C:

$$\Delta t_{\text{н}} := t_1' - t_2' = 99 \quad (2.4)$$

$$\Delta t_{\text{к}} := t_1'' - t_2'' = 18 \quad (2.5)$$

Определим среднюю разность температур, °C:

$$\Delta t_{\text{ср}} := \frac{(\Delta t_{\text{н}} - \Delta t_{\text{к}})}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{н}}}{\Delta t_{\text{к}}}\right)} = 47.514 \quad (2.6)$$

Средние температуры теплоносителей, °C;

$$t_{\text{х}} := 0.5 \cdot (-29 + 5) = -12 \quad (2.7)$$

$$t_{\text{г}} := t_{\text{х}} + \Delta t_{\text{ср}} = 35.514 \quad (2.8)$$

## 2.2 Ориентировочный расчет поверхности теплообмена

Принимаем трубы 25x2 мм:

Наружный диаметр труб, м:

$$d_{\text{н}} := 0.025$$

Толщина стенки труб, мм:

$$\delta := 2$$

Внутренний диаметр труб, м:

$$d_{\text{внут}} := 0.021$$

Найдем МАХ и МІN ориентировочную поверхность теплопередачи [1]:

Ориентировочные значения коэффициента теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$K_{\text{орmax}} := 500$$

$$K_{\text{орmin}} := 150$$

Тепловая нагрузка, Вт:

$$Q := Q_{\text{x1}} = 1.782 \times 10^5$$

Рассчитаем ориентировочные значения требуемой поверхности, м<sup>2</sup>:

$$F_{\text{орmin}} := \frac{Q}{(K_{\text{орmax}} \cdot \Delta t_{\text{ср}})} = 7.501 \quad (2.9)$$

$$F_{\text{орmax}} := \frac{Q}{(K_{\text{орmin}} \cdot \Delta t_{\text{ср}})} = 25.004 \quad (2.10)$$

Примем характер движения потока турбулентным.

									Лист
									19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$Re_{op} := 15000$$

Опираясь на рассчитанные данные, выберем теплообменник [1]:

Внутренний диаметр, мм:

$$D_{вн} := 600$$

Число труб:

$$N_{труб} := 257$$

Поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>:

$$F_{тепл} := 81$$

Длина труб, мм:

$$l_{труб} := 4000$$

Число ходов:

$$z := 1$$

Проходное сечение труб, м<sup>2</sup>:

$$S_T := 0.785 \cdot n \cdot 0.021^2 = 0.089$$

Проходное сечение межтрубного пространства, м<sup>2</sup>:

$$S_M := \pi \cdot \left( \frac{D_{вн} \cdot 10^{-3}}{2} \right)^2 - (0.0125)^2 \cdot (\pi \cdot n) = 0.157$$

Число рядов труб по вертикали:

$$n_p := 17$$

Расстояние между перегородками, мм:

$$h := 300$$

### 2.3 Уточненный расчет поверхности теплообмена

Уточняем значения скорости и Re для этилена [1]:

$$Re_{этуточ} := \frac{d_{внут}}{\mu_{эт}} \cdot \rho_{эт} \cdot w_{этуточ} \quad (2.11)$$

Где  $d_{внут}$  – внутренний диаметр труб, м;

$\mu_{эт}$  – динамическая вязкость этилена при средней температуре -12 °С, Па·с;

$\rho_{эт}$  – плотность этилена, кг/м<sup>3</sup>;

$w_{этуточ}$  – уточненная скорость движения этилена в трубах, м/с;

Динамическая вязкость этилена при средней температуре -12 °С, Па·с:

$$\mu_{эт} := 828 \cdot 10^{-8}$$

						Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Уточненная скорость движения этилена в трубах, м/с:

$$w_{\text{этуточ}} := \frac{V_{\text{эт}}}{S_{\text{т}}} = 25.278 \quad (2.12)$$

Найдем значение Re для этилена:

$$Re_{\text{этуточ}} := \frac{d_{\text{внут}}}{\mu_{\text{эт}}} \cdot \rho_{\text{эт}} \cdot w_{\text{этуточ}} = 7.565 \times 10^4$$

Режим течения турбулентный.

Уточняем значения скорости и Re для пропилена [1]:

$$Re_{\text{пруточ}} := \frac{d_{\text{э}}}{\mu_{\text{пр}}} \cdot \rho_{\text{пр}} \cdot w_{\text{пруточ}} \quad (2.13)$$

Где  $d_{\text{э}}$  – эквивалентный диаметр, м;

$\mu_{\text{пр}}$  – динамическая вязкость пропилена при средней температуре 35 °С, Па·с;

$\rho_{\text{пр}}$  – плотность пропилена, кг/м<sup>3</sup>;

$w_{\text{пруточ}}$  – уточненная скорость движения пропилена в трубах, м/с;

Эквивалентный диаметр, м:

$$d_{\text{э}} := \frac{4S_{\text{м}}}{\pi \cdot d_{\text{н}}} = 0.031 \quad (2.14)$$

Динамическая вязкость пропилена при средней температуре 35 °С, Па·с:

$$\mu_{\text{пр}} := 885 \cdot 10^{-8}$$

Уточненная скорость движения пропилена в трубах, м/с:

$$w_{\text{пруточ}} := \frac{V_{\text{пр}}}{S_{\text{м}}} = 10.345 \quad (2.15)$$

Найдем значение Re для пропилена:

$$Re_{\text{пруточ}} := \frac{d_{\text{э}}}{\mu_{\text{пр}}} \cdot \rho_{\text{пр}} \cdot w_{\text{пруточ}} = 6.456 \times 10^4$$

Режим течения турбулентный.

Находим коэффициент теплоотдачи для пропилена, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$\alpha_{\text{пр}} := \frac{Nu_{\text{пр}} \cdot \lambda_{\text{пр1}}}{d_{\text{н}}} \quad (2.16)$$

Где  $Nu_{\text{пр}}$  – критерий Нуссельта для пропилена;

$\lambda_{\text{пр1}}$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

$d_{\text{н}}$  – наружный диаметр труб, м;

Критерий Nu для пропилена:

						Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Nu_{\text{пр}} := 0.22 \cdot \varepsilon_{\phi} \cdot (\text{Re}_{\text{пруточ}})^{0.65} \quad (2.17)$$

Где  $\varepsilon_{\phi}$  – коэффициент, учитывающий влияние угла атаки  $\phi$ ;

Reпруточ – критерий Рейнольдса для пропилена;

Коэффициент  $\varepsilon_{\phi}$  по [1]:

$$\varepsilon_{\phi} := 0.6$$

Найдем значение Nu для пропилена:

$$Nu_{\text{пр}} := 0.22 \cdot \varepsilon_{\phi} \cdot (\text{Re}_{\text{пруточ}})^{0.65} = 176.63$$

Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К):

$$\lambda_{\text{пр1}} := 0.0185$$

Найдем значение коэффициента теплоотдачи для пропилена, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$\alpha_{\text{пр}} := \frac{Nu_{\text{пр}} \cdot \lambda_{\text{пр1}}}{d_{\text{н}}} = 130.707$$

Находим коэффициент теплоотдачи для этилена, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$\alpha_{\text{эт}} := \frac{Nu_{\text{эт}} \cdot \lambda_{\text{эт1}}}{d_{\text{внут}}} \quad (2.18)$$

Где  $Nu_{\text{эт}}$  – критерий Нуссельта для этилена;

$\lambda_{\text{эт1}}$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

$d_{\text{внут}}$  – внутренний диаметр труб, м;

Критерий Nu для этилена:

$$Nu_{\text{эт}} := 0.021 \cdot \varepsilon_i \cdot \text{Re}_{\text{этуточ}}^{0.8} \quad (2.19)$$

Где  $\varepsilon_i$  – коэффициент, учитывающий влияние отношения длины трубы к ее диаметру;

Reэтуточ – критерий Рейнольдса для этилена;

Коэффициент  $\varepsilon_i$  по [1]:

$$\varepsilon_i := 1$$

Найдем значение Nu для этилена:

$$Nu_{\text{эт}} := 0.021 \cdot \varepsilon_i \cdot \text{Re}_{\text{этуточ}}^{0.8} = 167.987$$

Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К):

$$\lambda_{\text{эт1}} := 0.0164$$

Найдем значение коэффициента теплоотдачи для пропилена, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

						Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\alpha_{\text{эт}} := \frac{\text{Nu}_{\text{эт}} \cdot \lambda_{\text{эт}1}}{d_{\text{внут}}} = 131.19$$

Находим действительный коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$K_{\text{действ}} := \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_{\text{пр}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{эт}}} + \Sigma R \right)} \quad (2.20)$$

Где  $\alpha_{\text{пр}}$  – коэффициент теплоотдачи для пропилена, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\alpha_{\text{эт}}$  – коэффициент теплоотдачи для этилена, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\Sigma R$  – суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;

Суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений, (м<sup>2</sup>·К)/Вт:

$$\Sigma R := r_{\text{з1}} + r_{\text{з2}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} \quad (2.21)$$

Где  $r_{\text{з1}}$  – тепловое сопротивление загрязнения стенки пропилена, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;

$r_{\text{з2}}$  – тепловое сопротивление загрязнения стенки этилена, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;

$\delta$  – толщина стенки трубок, м;

$\lambda_{\text{ст}}$  – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/(м·К);

Тепловое сопротивление загрязнения стенки пропилена [1], (м<sup>2</sup>·К)/Вт:

$$r_{\text{з1}} := \frac{1}{2900}$$

Тепловое сопротивление загрязнения стенки со стороны этилена [1], (м<sup>2</sup>·К)/Вт:

$$r_{\text{з2}} := \frac{1}{2900}$$

Толщина стенки трубок, м:

$$\delta := 2 \cdot 10^{-3}$$

Коэффициент теплопроводности стенки, Вт/(м·К):

$$\lambda_{\text{ст}} := 46.5$$

Найдем значение суммарного термического сопротивления стенки и загрязнений, (м<sup>2</sup>·К)/Вт:

$$\Sigma R := r_{\text{з1}} + r_{\text{з2}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} = 7.327 \times 10^{-4}$$

Находим значение действительного коэффициента теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К):

						Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$K_{\text{действ}} := \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_{\text{пр}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{эт}}} + \Sigma R \right)} = 62.477$$

Удельная тепловая нагрузка, Вт/м<sup>2</sup>:

$$q := K_{\text{действ}} \cdot \Delta t_{\text{ср}} \quad (2.22)$$

Где  $K_{\text{действ}}$  – действительный коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\Delta t_{\text{ср}}$  – средняя разность температур, °С;

Находим значение удельной тепловой нагрузки, Вт/м<sup>2</sup>:

$$q := K_{\text{действ}} \cdot \Delta t_{\text{ср}} = 2.969 \times 10^3$$

Тогда требуемая поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>:

$$F_{\text{действ}} := \frac{Q}{q} \quad (2.23)$$

Где  $Q$  – тепловая нагрузка, Вт;

$q$  – поверхностная плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;

Значение требуемой поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>:

$$F_{\text{действ}} := \frac{Q}{q} = 60.03$$

При этом запас поверхности, %:

$$\Delta := \frac{F_{\text{тепл}} - F_{\text{действ}}}{F_{\text{тепл}}} \cdot 100 \quad (2.24)$$

Где  $F_{\text{тепл}}$  – поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>;

$F_{\text{действ}}$  – требуемая поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>;

Значение запаса поверхности, %;

$$\Delta := \frac{F_{\text{тепл}} - F_{\text{действ}}}{F_{\text{тепл}}} \cdot 100 = 25.888$$

## 2.4 Гидравлический расчет

### Исходные данные:

Полный объемный расход этилена, м<sup>3</sup>/с;

$$V_{\text{этп}} := 8.996$$

Скорость движения этилена газа во всасывающем трубопроводе, м/с;

$$w_{\text{этп}} := 0$$

Статическое давление в теплообменнике и емкости, Па;

						Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$$p_{\text{СТН}} := 2.0 \cdot 10^6$$

$$p_{\text{СТВС}} := 2.05 \cdot 10^6$$

### Расчетные параметры:

Мощность, потребляемая двигателем вентилятором [1], кВт:

$$N := \frac{V_{\text{ЭТП}} \cdot \Delta P}{1000 \cdot \eta_{\text{В}}} \quad (2.25)$$

Где  $V_{\text{ЭТП}}$  – полный объемный расход этилена, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta P$  – повышение давления, создаваемое вентилятором, Па;

$\eta_{\text{В}}$  – КПД вентилятора, %;

Повышение давления, создаваемое вентилятором [1], Па:

$$\Delta P := \left( p_{\text{СТН}} + \frac{w_{\text{ЭТУТОЧ}}^2 \cdot \rho_{\text{ЭТ}}}{2} \right) - \left( p_{\text{СТВС}} + \frac{w_{\text{ЭТН}}^2 \cdot \rho_{\text{ЭТ}}}{2} \right) \quad (2.26)$$

Где  $p_{\text{СТН}}$  и  $p_{\text{СТВС}}$  – статическое давление в теплообменнике и емкости, МПа;

$w_{\text{ЭТУТОЧ}}$  – уточненная скорость движения этилена в трубах, м/с;

$\rho_{\text{ЭТ}}$  – плотность этилена, кг/м<sup>3</sup>;

$w_{\text{ЭТН}}$  – скорость движения этилена газа во всасывающем трубопроводе, м/с;

Значение повышения давления, создаваемого вентилятором, Па:

$$\Delta P := \left( p_{\text{СТН}} + \frac{w_{\text{ЭТУТОЧ}}^2 \cdot \rho_{\text{ЭТ}}}{2} \right) - \left( p_{\text{СТВС}} + \frac{w_{\text{ЭТН}}^2 \cdot \rho_{\text{ЭТ}}}{2} \right) = -4.962 \times 10^4$$

КПД вентилятора [1], %:

$$\eta_{\text{В}} := 0.75$$

Значение мощности, потребляемой двигателем вентилятора, кВт:

$$N := \frac{V_{\text{ЭТП}} \cdot \Delta P}{1000 \cdot \eta_{\text{В}}} = -595.211$$

По значениям, полученным в гидравлическом расчете можно сделать вывод, что установка насоса не требуется.

## 2.5 Расчет толщины изоляции

### Исходные данные:

Температура стенки обечайки, °С;

$$T_{\text{раб}} := 70$$

Температура поверхности изоляции не должна превышать 40 °С.

						Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Примем температуру наружной среды  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Разность температур поверхности аппарата и окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta t := 40 - (-30) = 70$$

Принимаем приближенно, что все термические сопротивления сосредоточены в слое изоляции:

В качестве изоляционного материала примем совелит:

Толщина изоляции, м:

$$\delta_{\text{изол}} := \frac{\lambda}{\text{цуд}} \cdot [\text{Траб} - (-30)] \quad (2.27)$$

Где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала изоляции,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;

цуд – удельный тепловой поток,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

Траб – температура стенки обечайки,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$(-30)$  – температура наружной среды,  $^{\circ}\text{C}$ ;

Коэффициент теплопроводности материала изоляции,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ :

$$\lambda := 0.098$$

Удельный тепловой поток,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ :

$$\text{цуд} := \alpha \cdot \Delta t \quad (2.28)$$

Где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ;

$\Delta t$  – разность температур поверхности аппарата и окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

Коэффициент теплоотдачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ :

$$\alpha := 9.74 + 0.07 \cdot 70 = 14.64$$

Значение удельного теплового потока,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ :

$$\text{цуд} := \alpha \cdot \Delta t = 1.025 \times 10^3$$

Найдем значение толщины изоляции, м:

$$\delta_{\text{изол}} := \frac{\lambda}{\text{цуд}} \cdot [\text{Траб} - (-30)] = 9.563 \times 10^{-3}$$

Принимаем толщину изоляции 40 мм.

## 2.6 Расчет и подбор патрубков и фланцев

Расчёт патрубков сводится к определению диаметра патрубка по уравнению [1]:

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot G}{3.14 \cdot \rho \cdot \omega}} \quad (2.29)$$

						Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Где  $w$  – скорость; для жидкости принимается 0,1-2 м/с, для пара – 10-30 м/с;

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

$\rho$  – плотность при соответствующих условиях, кг/м<sup>3</sup>.

Для этилена, м:

$$d_{\text{эт}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{3.14 \cdot \rho_{\text{эт}} \cdot w_{\text{этуточ}}}} = 0.337$$

Принимаем  $d_{\text{эт}} = 350$  мм.

Для пропилена, м:

$$d_{\text{пр}} := \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{3.14 \cdot \rho_{\text{пр}} \cdot w_{\text{пруточ}}}} = 0.447$$

Принимаем  $d_{\text{пр}} = 300$  мм.

						Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 3 Механический расчет

Основная цель механического расчета аппарата – это определение различных параметров отдельных элементов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию и надежность. Рассчитываемое оборудование должно обладать необходимой механической прочностью, устойчивостью, плотностью разъемных соединений и требуемой долговечностью.

#### 3.1 Выбор материала

Марка стали подбирается исходя из условий работы аппарата и определенных критериев, таких как агрессивность среды, доступность и дешевизна и т.д. Выбранная сталь должна обладать достаточной прочностью и пластичностью в рабочих условиях и допускать горячую и холодную механическую обработку.

Исходя из того, что в теплообменнике происходит теплообмен между органическими средами, материал следует выбирать так, чтобы он был устойчив к этим средам. Из справочника [2] выбираем стали 12Х18Н10Т для трубной решетки, крышки и днища, и 09Г2С для обечайки и опорных лап. Сталь 12Х18Н10Т при сварке разнородных материалов склонна к образованию горячих трещин, поэтому в процессе сварки необходимо ограничить погонную энергию [23].

Для крепежных изделий принимаем в качестве материала сталь 40Х. Данная сталь имеет высокую прочность и является дешевой и доступной на рынке.

В качестве материала для уплотнения соединений примем паронит, являющийся химически стойким и относительно дешевым материалом.

#### 3.2 Расчетная модель

Рассчитываемый теплообменник служит для подогрева газообразного этилена. В трубное пространство подается газообразный этилен при температуре -29 градусов и давлении 2.0 МПа, в межтрубное – газ пропилен холодильного цикла при температуре 70 градусов и давлении 1.5 МПа.

Через штуцер А подается газообразный этилен (-29 градусов), проходя по трубам

					<i>ФЮРА.065111.001 ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Студент</i>	<i>Трубинов А.В.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Тихонов Н.В.</i>				<i>Д</i>	<i>28</i>	<i>51</i>
<i>Конс.</i>	<i>Беляев В.М.</i>				<i>Механический расчет</i>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Руков. ООП</i>	<i>Беляев В.М.</i>						
					<i>ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М.Кижнера Группа 4К51</i>		

этилен подогревается газообразным пропиленом (70 градусов) до температуры 5 градусов и далее направляется на производство полиэтилена высокого давления через штуцер Б. Пропилен холодильного цикла поступает через штуцер В и отводится через штуцер Г.

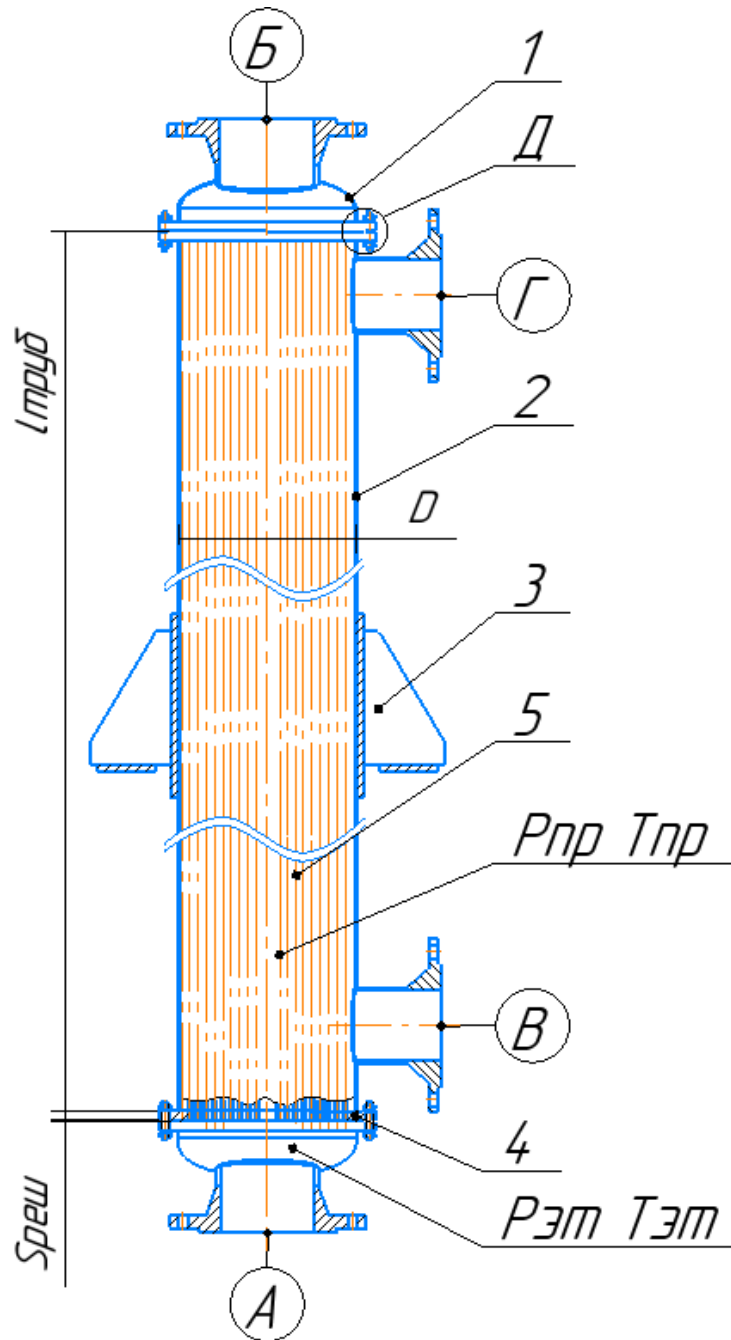


Рисунок 3.1 – Расчетная модель теплообменного аппарата

1 – крышка эллиптическая; 2 – цилиндрическая обечайка; 3 – лапы; 4 – трубная решетка; 5 – трубы; А – штуцер входа нагреваемой среды; Б – штуцер выхода нагреваемой среды; В – штуцер входа нагревающей среды; Г – штуцер выхода нагревающей среды.

					Лист
					29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

### 3.3 Расчет температурных деформаций

Чтобы проверить, является ли теплообменный аппарат с неподвижной трубной решеткой подходящим для нашей работы, рассчитаем температурные деформации корпуса и труб.

#### Исходные данные:

Температурные коэффициенты линейного расширения труб и корпуса по [3],  $K^{-1}$ ;

$$\alpha_T := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_K := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

Число труб;

$$n := 257$$

Температура кожуха,  $^{\circ}C$ ;

$$t_K := 70$$

Наружные и внутренние диаметры труб и корпуса, мм;

$$d_H := 25$$

$$d_{BH} := 21$$

$$D_H := 612$$

$$D_{BH} := 600$$

Длина труб, м;

$$l_{\text{труб}} := 4.0$$

#### Расчетные параметры:

Средняя температура труб,  $^{\circ}C$ :

$$t_T := \frac{(70 - 29)}{2}$$

$$t_T = 20.5$$

Модули упругости для материала труб (12X18H10T) и кожуха (09Г2С) при рабочей температуре согласно [3], МПа:

$$E_T := 2 \cdot 10^5$$

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

					Лист
					30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

$$E_K := \begin{pmatrix} 1.99 \\ 1.91 \end{pmatrix}$$

$$E_K := \text{Ceil}(\text{linterp}(t, E_K, t_T), 0.01) = 1.99$$

$$E_K := 1.99 \cdot 10^5$$

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

При 20.5 °С

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

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

$$\sigma_{дТ} := \text{Ceil}(\text{linterp}(t, \sigma_{дТ}, t_T), 0.5) = 184$$

При 70 °С

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

$$\sigma_{дК} := \begin{pmatrix} 196 \\ 177 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{дК} := \text{Ceil}(\text{linterp}(t, \sigma_{дК}, t_K), 0.5) = 184.5$$

Площади поперечного сечения труб и корпуса, м<sup>2</sup>:

$$F_T := n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left[ \left( d_H \cdot 10^{-3} \right)^2 - \left( d_{ВН} \cdot 10^{-3} \right)^2 \right] = 0.037 \quad (3.1)$$

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot \left[ \left( D_H \cdot 10^{-3} \right)^2 - \left( D_{ВН} \cdot 10^{-3} \right)^2 \right] = 0.011 \quad (3.2)$$

Определяем температурное усилие, МН:

$$Q_t := \left| \frac{(\alpha_K \cdot t_K - \alpha_T \cdot t_T) E_T \cdot E_K \cdot F_T \cdot F_K}{E_T \cdot F_T + E_K \cdot F_K} \right| = 0.821 \quad (3.3)$$

Определим температурные напряжения труб и корпуса, МПа:

$$\sigma_T := \frac{Q_t}{F_T} = 22.106 \quad (3.4)$$

$$\sigma_K := \frac{Q_t}{F_K} = 71.873 \quad (3.5)$$

Проверим применимость теплообменника с неподвижными трубными решетками:

						Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sigma_T \leq \sigma_{дТ}$$

$$22.106 \leq 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma_K \leq \sigma_{дК}$$

$$71.873 \leq 184.5 \text{ МПа}$$

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

### 3.4 Расчет обечайки корпуса аппарата [5] (поз. 2)

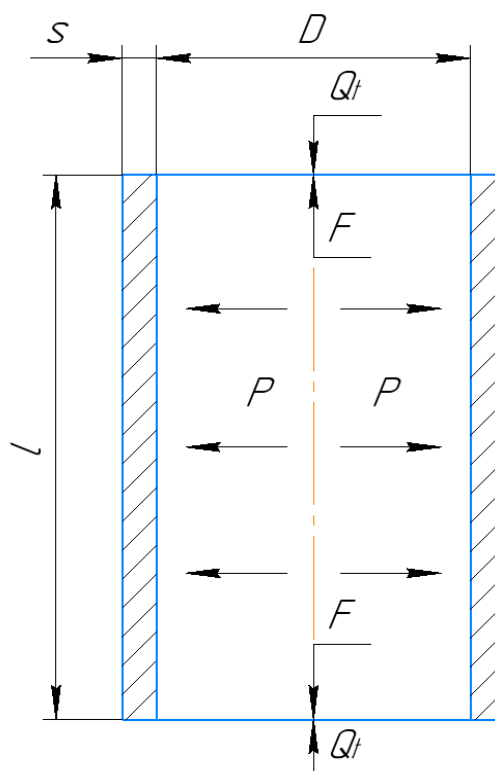


Рисунок 3.2 – Расчетная схема цилиндрической обечайки

Цель расчета толщины обечайки корпуса – обеспечение необходимой прочности при условиях работы и испытаниях.

#### Исходные данные:

Внутренний диаметр обечайки, мм;

$$D := 600$$

Рабочее давление внутри аппарата, МПа;

$$p_{пр} := 1.5$$

Длина обечайки, мм;

					Лист
					32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	



$$l := 4000$$

Температурное усилие, МН;

$$Q_t := 0.821$$

### Расчетные параметры:

Коэффициент номинального уменьшения допускаемого напряжения:

$$\eta := 0.9$$

Допускаемое напряжение стали 09Г2С при 20 °С, МПа:

$$[\sigma_{од}]_{20} := 196$$

$$[\sigma_o]_{20} := [\sigma_{од}]_{20} \cdot \eta = 176.4$$

Допускаемое напряжение стали 09Г2С при рабочей температуре горячего теплоносителя (70 °С), МПа:

$$[\sigma_o] := 184$$

Сварка аппарата полуавтоматическая, сварной шов стыковой односторонний, контролируемая длина сварных швов 100%.

Коэффициент сварного шва равен:

$$\phi_p := 1$$

Коэффициент запаса прочности по пределу текучести:

$$n := 1.1$$

Значение предела текучести 09Г2С при температуре 20 °С, МПа:

$$\sigma_T := 300$$

Допускаемое напряжение стали 09Г2С для условий гидроиспытания, МПа:

$$\sigma_{ио} := \frac{\sigma_T}{n} = 272.727$$

Давление испытаний, МПа:

$$p_{ио} := 1.25 \cdot p_{пр} \cdot \frac{[\sigma_o]_{20}}{[\sigma_o]} = 1.798$$

### 3.4.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении

Расчетная толщина стенки, мм:

						Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$s_p := \max \left( \frac{p_{\text{пр}} \cdot D}{2 \cdot [\sigma_o] \cdot \phi_p - p_{\text{пр}}}, \frac{p_{\text{ио}} \cdot D}{1.8 \cdot \sigma_{\text{ио}} \cdot \phi_p - p_{\text{ио}}} \right) \quad (3.6)$$

Где  $p_{\text{пр}}$  – рабочее давление внутри аппарата, МПа;

$D$  – внутренний диаметр обечайки, мм;

$[\sigma_o]$  – допускаемое напряжение стали 09Г2С при рабочей температуре горячего теплоносителя, МПа;

$\phi_p$  – коэффициент сварного шва равен;

$p_{\text{ио}}$  – давление испытаний, МПа;

$\sigma_{\text{ио}}$  – допускаемое напряжение стали 09Г2С для условий гидроиспытания, МПа;

Значение расчетной толщины стенки, мм:

$$s_p := \max \left( \frac{p_{\text{пр}} \cdot D}{2 \cdot [\sigma_o] \cdot \phi_p - p_{\text{пр}}}, \frac{p_{\text{ио}} \cdot D}{1.8 \cdot \sigma_{\text{ио}} \cdot \phi_p - p_{\text{ио}}} \right) = 2.456$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_o := s_p + c_o \quad (3.7)$$

Где прибавку к расчетным толщинам находим согласно [3]:

$$c_o := c_1 + c_2 + c_3 \quad (3.8)$$

Где  $c_1$  – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

$c_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

$c_3$  – технологическая прибавка, мм;

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм:

$$c_1 := \Pi \cdot \tau \quad (3.9)$$

Скорость коррозии материала от действия заданной среды, мм/год:

$$\Pi := 0.12$$

Срок эксплуатации аппарата, лет:

$$\tau := 15$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм:

$$c_1 := \Pi \cdot \tau = 1.8$$

Прибавка для компенсации минусового допуска, мм:

$$c_2 := 0.8$$

Технологическая прибавка, мм:

$$c_3 := 0$$

						Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов, мм:

$$c_o := c_1 + c_2 + c_3 = 2.6$$

Тогда исполнительная толщина стенки аппарата, мм:

$$s_o := \text{ceil}(s_p + c_o) = 6$$

Принимаем по рекомендациям исполнительную толщину стенки обечайки, мм:

$$s_{o, \text{пр}} := 6$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\frac{s_o - c_o}{D} \leq 0.1$$

$$\frac{s_o - c_o}{D} = 5.667 \times 10^{-3}$$

Так как  $5.667 \cdot 10^{-3} \leq 0.1$  условие применимости формул выполняется.

Проверка прочности при рабочих условиях:

Допускаемое давление при рабочих условиях, МПа:

$$[p_o] := 2 \cdot [\sigma_o] \cdot \phi_p \cdot \frac{(s_o - c_o)}{[D + (s_o - c_o)]} = 2.074 \quad (3.10)$$

$$p_{\text{пр}} < [p_o]$$

Так как  $1.5 < 2.074$  МПа условия прочности выполняются.

Проверка прочности при гидроиспытаниях:

Допускаемое давление при условиях испытаний, МПа:

$$[p_{\text{ио}}] := 1.8 \cdot \sigma_{\text{ио}} \cdot \phi_p \cdot \frac{(s_o - c_o)}{[D + (s_o - c_o)]} = 2.766 \quad (3.11)$$

$$p_{\text{и}} < [p_{\text{ио}}]$$

Так как  $1.798 < 2.766$  МПа условия прочности выполняются.

### 3.4.2 Расчет осевого растягивающего усилия

При рабочих условиях:

Расчетное осевое растягивающее усилие равно, Н:

$$F := \frac{p_{\text{пр}} \cdot \pi \cdot D^2}{4} = 4.241 \times 10^5 \quad (3.12)$$

					Лист
					35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Допускаемое осевое растягивающее усилие по формуле 13 [5], Н:

$$[F] := \pi(D + s_o - c_o)(s_o - c_o) \cdot \phi_p \cdot [\sigma_o] = 1.186 \times 10^6 \quad (3.13)$$

$$F < [F]$$

Так как  $4.241 \cdot 10^5 < 1.186 \cdot 10^6$  Н условия прочности выполняются.

При условиях испытаний:

Расчетное осевое растягивающее усилие равно, Н:

$$F_{и} := \frac{P_{ио} \cdot \pi \cdot D^2}{4} = 5.082 \times 10^5 \quad (3.14)$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие по формуле 13 [5], Н:

$$[F_{и}] := \pi(D + s_o - c_o)(s_o - c_o) \cdot \phi_p \cdot \sigma_{ио} = 1.758 \times 10^6 \quad (3.15)$$

$$F_{и} < [F_{и}]$$

Так как  $5.082 \cdot 10^5 < 1.758 \cdot 10^6$  Н условия прочности выполняются.

### 3.4.3 Проверка устойчивости обечайки

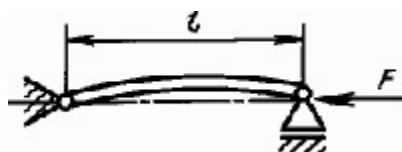


Рисунок 3.3 – Расчетная схема для сжимающего усилия

Коэффициенты  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  определяем по рисункам 5, 6 [5]:

$$\varphi_1 := 0.9$$

$$\varphi_2 := 1$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие по формуле 20 [5], Н:

$$[F_c] := \pi(D + s_o - c_o)(s_o - c_o) \cdot [\sigma_o] \cdot \min(\varphi_1, \varphi_2) = 1.067 \times 10^6 \quad (3.16)$$

$$Q_t < [F_c]$$

Так как  $0.821 \cdot 10^6 < 1.067 \cdot 10^6$  Н условия прочности выполняются.

При условиях испытаний проверку устойчивости проводить не требуется, т.к при гидроиспытаниях будет отсутствовать сжимающая сила.

Из проведенных расчетов видно, что исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата.

						Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 3.5 Расчет толщины стенки эллиптического днища [5] (поз. 1)

Целью расчёта толщины стенки эллиптических днищ, нагруженных внутренним избыточным давлением, является определение исполнительной толщины стенки исходя из условий прочности.

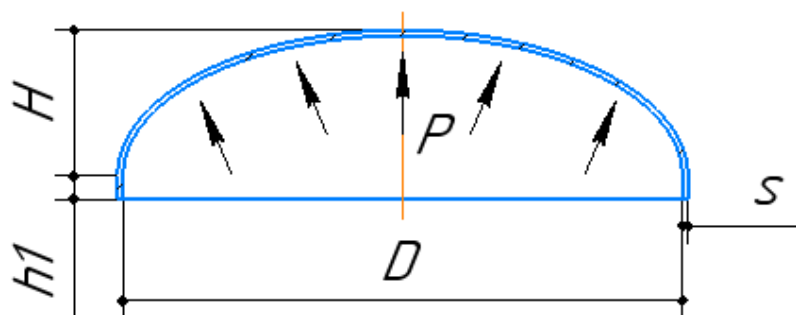


Рисунок 3.4 – Эллиптическое днище

#### Исходные данные:

Примем днища по [16]: 600x6-25-12X18Н10Т

Внутренний диаметр днища, мм;

$$D := 600$$

Внутреннее давление, МПа;

$$p_{ЭГ} := 2.0$$

Коэффициент сварного шва равен;

$$\phi_p := 1$$

Коэффициент запаса прочности по пределу текучести;

$$n := 1.1$$

#### Расчетные параметры:

Радиус кривизны в вершине днища, мм:

$$R_{mm} := D$$

Для эллиптических днищ высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части, мм:

$$H_d := 0.25D$$

$$H_d = 150$$

Коэффициент номинального уменьшения допускаемого напряжения:

$$\eta := 0.9$$

					Лист
					37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Допускаемое напряжение стали 12X18H10T при 20 °С, МПа:

$$[\sigma_{\text{дд}}]_{20} := 184$$

$$[\sigma_{\text{д}}]_{20} := [\sigma_{\text{дд}}]_{20} \cdot \eta = 165.6$$

Допускаемое напряжение стали 12X18H10T при рабочей температуре этилена (5 °С), МПа:

$$[\sigma_{\text{д}}] := 184$$

Значение предела текучести 12X18H10T при температуре 20 °С, МПа:

$$\sigma_{\text{Тд}} := 276$$

Допускаемое напряжение стали 12X18H10T для условий гидроиспытания, МПа:

$$\sigma_{\text{ид}} := \frac{\sigma_{\text{Тд}}}{n} = 250.909$$

Давление испытаний, МПа:

$$P_{\text{ид}} := 1.25 \cdot P_{\text{эт}} \cdot \frac{[\sigma_{\text{д}}]_{20}}{[\sigma_{\text{д}}]} = 2.25 \quad (3.17)$$

### 3.5.1 При внутреннем избыточном давлении

Расчетная толщина стенки при внутреннем избыточном давлении, мм:

$$s_{\text{д1}} := \max \left( \frac{P_{\text{эт}} \cdot R}{2 \cdot \phi_{\text{р}} \cdot [\sigma_{\text{д}}] - 0.5 \cdot P_{\text{эт}}}, \frac{P_{\text{ид}} \cdot R}{1.8 \cdot \phi_{\text{р}} \cdot \sigma_{\text{ид}} - 0.5 \cdot P_{\text{ид}}} \right) \quad (3.18)$$

Где  $P_{\text{эт}}$  – рабочее давление внутри аппарата, МПа;

$R$  – радиус кривизны в вершине днища равен, мм;

$[\sigma_{\text{д}}]$  – допускаемое напряжение стали 12X18H10T при рабочей температуре этилена, МПа;

$\phi_{\text{р}}$  – коэффициент сварного шва равен;

$P_{\text{ид}}$  – давление испытаний, МПа;

$\sigma_{\text{ид}}$  – допускаемое напряжение стали 12X18H10T для условий гидроиспытания, МПа;

Значение расчетной толщины стенки, мм:

$$s_{\text{д1}} := \max \left( \frac{P_{\text{эт}} \cdot R}{2 \cdot \phi_{\text{р}} \cdot [\sigma_{\text{д}}] - 0.5 \cdot P_{\text{эт}}}, \frac{P_{\text{ид}} \cdot R}{1.8 \cdot \phi_{\text{р}} \cdot \sigma_{\text{ид}} - 0.5 \cdot P_{\text{ид}}} \right) = 3.27$$

Исполнительная толщина стенки днища:

					Лист
					38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

$$s_d := s_{d1} + c_d \quad (3.19)$$

Где прибавку к расчетным толщинам находим согласно [3]:

$$c_d := c_1 + c_2 + c_3 \quad (3.20)$$

Где  $c_1$  – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

$c_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

$c_3$  – технологическая прибавка, мм;

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм:

$$c_1 := \Pi \cdot \tau \quad (3.21)$$

Скорость коррозии материала от действия заданной среды, мм/год:

$$\Pi := 0.01$$

Срок эксплуатации аппарата, лет:

$$\tau := 15$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм:

$$c_1 := \Pi \cdot \tau = 0.15$$

Прибавка для компенсации минусового допуска, мм:

$$c_2 := 0.8$$

Технологическая прибавка, мм:

$$c_3 := 0$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов, мм:

$$c_d := c_1 + c_2 + c_3 = 0.95$$

Тогда исполнительная толщина стенки днища, мм:

$$s_d := \text{ceil}(s_{d1} + c_d) = 5$$

Принимаем по рекомендациям исполнительную толщину стенки днища, мм:

$$s_{d, \text{мм}} := 6$$

Проверка условия применимости формул для эллиптического днища:

$$0.002 \leq \frac{s_d - c_d}{D} \leq 0.1$$

$$\frac{s_d - c_d}{D} = 8.417 \times 10^{-3}$$

Так как  $0.002 \leq 8.417 \cdot 10^{-3} \leq 0.1$  условие применимости формул выполняется.

Проверка прочности при рабочих условиях:

						Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Допускаемое давление при рабочих условиях, МПа:

$$[p_{\text{д}}] := 2 \cdot [\sigma_{\text{д}}] \cdot \phi_{\text{р}} \cdot \frac{(s_{\text{д}} - c_{\text{д}})}{[D + (s_{\text{д}} - c_{\text{д}})]} = 3.071 \quad (3.22)$$
$$p_{\text{эт}} < [p_{\text{д}}]$$

Так как  $(2.0 < 3.071)$  МПа условия прочности выполняются.

Проверка прочности при гидроиспытаниях:

Допускаемое давление при условиях испытаний, МПа:

$$[p_{\text{ид}}] := 1.8 \cdot \sigma_{\text{ид}} \cdot \phi_{\text{р}} \cdot \frac{(s_{\text{д}} - c_{\text{д}})}{[D + (s_{\text{д}} - c_{\text{д}})]} = 3.77 \quad (3.23)$$
$$p_{\text{и}} < [p_{\text{ид}}]$$

Так как  $2.25 < 3.77$  МПа условия прочности выполняются.

Из проведенных расчетов видно, что исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата.

### 3.6 Расчет и подбор патрубков и фланцев

Целью данного расчета является определение минимальной исполнительной толщины стенки штуцера и его проверка на прочность.

#### Исходные данные:

Расчет диаметров патрубков был произведен в технологическом расчете. Исходя из удобства проектирования, конструктивных особенностей, патрубки для входа и выхода этилена были приняты по 350 мм, а для входа пара и выхода пропилена по 300 мм.

Диаметр патрубка для входа и выхода холодного теплоносителя (этилена), мм;

$$d_{\text{хол}} := 350$$

Диаметр патрубка для входа и выхода горячего теплоносителя (пропилена), мм;

$$d_{\text{гор}} := 300$$

Рабочая температура этилена теплоносителя, °С;

$$t_{\text{хол}} := 5$$

Рабочая температура пропилена теплоносителя, °С;

$$t_{\text{гор}} := 70$$

Длина патрубков назначается в соответствии с [7]:

									Лист
									40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



Длина патрубка для этилена теплоносителя, мм;

$$L_{\text{хол}} := 230$$

Длина патрубка для пропилена теплоносителя, мм;

$$L_{\text{гор}} := 200$$

Расчетное давление этилена в трубном пространстве в рабочих условиях, МПа;

$$p_{\text{ЭТ}} := 2.0$$

Расчетное давление пропилена в межтрубном пространстве в рабочих условиях, МПа;

$$p_{\text{пр}} := 1.5$$

Допускаемое напряжение стали 12Х18Н10Т при рабочей температуре этилена (5 °С), МПа;

$$[\sigma_{\text{д}}] := 184$$

Допускаемое напряжение стали 12Х18Н10Т для условий гидроиспытания, МПа;

$$\sigma_{\text{ид}} := 250.909$$

Давление испытаний, МПа;

$$p_{\text{ид}} := 2.25$$

Допускаемое напряжение стали 09Г2С при рабочей температуре горячего теплоносителя (70 °С), МПа;

$$[\sigma_{\text{о}}] := 184$$

Коэффициент сварного шва равен;

$$\phi_{\text{р}} := 1$$

Допускаемое напряжение стали 09Г2С для условий гидроиспытания, МПа;

$$\sigma_{\text{ио}} := 272.727$$

Давление испытаний, МПа;

$$p_{\text{ио}} := 1.798$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов, мм:

$$c_{\text{д}} := 0.95$$

$$c_{\text{о}} := 2.6$$

Материал для патрубков назначаем конструктивно: 12Х18Н10Т для патрубка холодного теплоносителя и 09Г2С для патрубка горячего теплоносителя. Таким образом, не будет возникать увеличение скорости коррозии.

									Лист
									41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

### 3.6.1 Расчет толщины стенки патрубка холодного теплоносителя [5]

Расчетная толщина стенки патрубка при внутреннем избыточном давлении, мм:

$$s_{x1} := \max \left( \frac{p_{\text{ЭТ}} \cdot d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi_p \cdot [\sigma_d] - 0.5 \cdot p_{\text{ЭТ}}}, \frac{p_{\text{ИД}} \cdot d_{\text{хол}}}{1.8 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{ИД}} - 0.5 \cdot p_{\text{ИД}}} \right) \quad (3.24)$$

Где  $p_{\text{ЭТ}}$  – рабочее давление внутри аппарата, МПа;

$d_{\text{хол}}$  – диаметр входного и выходного патрубка для холодного теплоносителя, мм;

$[\sigma_d]$  – допускаемое напряжение стали 12Х18Н10Т при рабочей температуре этилена, МПа;

$\phi_p$  – коэффициент сварного шва равен;

$p_{\text{ИД}}$  – давление испытаний, МПа;

$\sigma_{\text{ИД}}$  – допускаемое напряжение стали 12Х18Н10Т для условий гидротестирования, МПа;

Значение расчетной толщины стенки патрубка, мм:

$$s_{x1} := \max \left( \frac{p_{\text{ЭТ}} \cdot d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi_p \cdot [\sigma_d] - 0.5 \cdot p_{\text{ЭТ}}}, \frac{p_{\text{ИД}} \cdot d_{\text{хол}}}{1.8 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{ИД}} - 0.5 \cdot p_{\text{ИД}}} \right) = 1.907$$

Исполнительная толщина стенки патрубка, мм:

$$s_x := s_{x1} + c_d = 2.857 \quad (3.25)$$

Принимаем толщину патрубка по [7], мм:

$$s_{xw} := 12$$

Проверим условие применимости формул безмоментной теории:

$$\frac{s_x - c_d}{d_{\text{хол}}} \leq 0.1$$

$$\frac{s_x - c_d}{d_{\text{хол}}} = 0.032$$

Так как  $0.032 \leq 0.1$  условие применимости формул выполняется.

Проверка прочности при рабочих условиях:

Допускаемое давление при рабочих условиях, МПа:

$$[p_x] := 2 \cdot [\sigma_d] \cdot \phi_p \cdot \frac{(s_x - c_d)}{[d_{\text{хол}} + (s_x - c_d)]} = 11.263 \quad (3.26)$$

$$p_{\text{ЭТ}} < [p_x]$$

					Лист
					42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	



$[\sigma_0]$  – допускаемое напряжение стали 09Г2С при рабочей температуре горячего теплоносителя, МПа;

$\phi_p$  – коэффициент сварного шва равен;

$p_{ио}$  – давление испытаний, МПа;

$\sigma_{ио}$  – допускаемое напряжение стали 09Г2С для условий гидроиспытания, МПа;

Значение расчетной толщины стенки патрубка, мм:

$$s_{r1} := \max \left( \frac{p_{пр} \cdot d_{гор}}{2 \cdot \phi_p \cdot [\sigma_0] - 0.5 \cdot p_{пр}}, \frac{p_{ио} \cdot d_{гор}}{1.8 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{ио} - 0.5 \cdot p_{ио}} \right) = 1.225$$

Исполнительная толщина стенки патрубка, мм:

$$s_r := s_{r1} + c_0 = 3.825 \quad (3.29)$$

Принимаем толщину патрубка по [7], мм:

$$s_{пр} := 10$$

Проверим условие применимости формул безмоментной теории:

$$\frac{s_r - c_0}{d_{гор}} \leq 0.1$$

$$\frac{s_r - c_0}{d_{гор}} = 0.025$$

Так как  $0.025 \leq 0.1$  условие применимости формул выполняется.

Проверка прочности при рабочих условиях:

Допускаемое давление при рабочих условиях, МПа:

$$[p_r] := 2 \cdot [\sigma_0] \cdot \phi_p \cdot \frac{(s_r - c_0)}{[d_{гор} + (s_r - c_0)]} = 8.859 \quad (3.30)$$

$$p_{пр} < [p_r]$$

Так как  $1.5 < 8.859$  МПа условия прочности выполняются.

Проверка прочности при гидроиспытаниях:

Допускаемое давление при условиях испытаний, МПа:

$$[p_{иГ}] := 1.8 \cdot \sigma_{ио} \cdot \phi_p \cdot \frac{(s_r - c_0)}{[d_{гор} + (s_r - c_0)]} = 11.818 \quad (3.31)$$

$$p_{ио} < [p_{иГ}]$$

Так как  $1.798 < 11.818$  МПа условия прочности выполняются.

					Лист
					44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

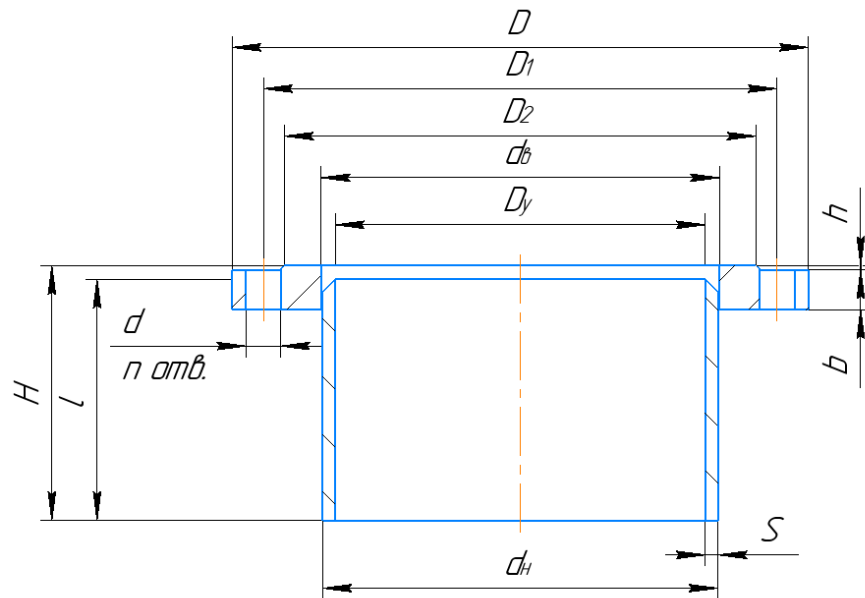


Рисунок 3.6 – Штуцер для горячего теплоносителя [7]

Таблица 3.2 – Основные размеры выбранного штуцера [7]

$D_y$	$d_\varepsilon$	$D$	$D_1$	$D_2$	$b$	$h$	$d$	$n$	$l$	$H$	$d_H$	$S$
300	328	485	430	390	32	4	30	16	200	210	325	10

Таким образом, были подобраны два штуцера для входа и выхода газообразного этилена и два штуцера для входа и выхода газообразного пропилена.

### 3.7 Расчет укрепления отверстия под штуцер (поз. А, В)

Целью данного расчета является проверка на необходимость укрепления отверстий.

#### Расчетные параметры:

Расчетный диаметр отверстия, ось которого совпадает с нормалью к поверхности по формуле 8 [6], мм:

$$d_{\text{рхол}} := d_{\text{хол}} + 2c_d = 351.9 \quad (3.32)$$

$$d_{\text{ргор}} := d_{\text{гор}} + 2c_o = 305.2 \quad (3.33)$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, при котором не требуется дополнительное укрепление отверстий вычисляют по формуле 26 [6], мм:

$$d_{0x} := \min \left[ 2 \left( \frac{s_x - c_d}{s_{x1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s_x - c_d)}, D + 2 \cdot c_d \right] = 601.9 \quad (3.34)$$

$$d_{0Г} := \min \left[ 2 \left( \frac{s_T - c_o}{s_{T1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s_T - c_o)}, D + 2 \cdot c_o \right] = 605.2 \quad (3.35)$$

Проверка условий расчета укрепления отверстий:

Холодный теплоноситель:

$$d_{0х} \geq d_{рхол}$$

Так как  $601.9 \geq 351.9$  мм укрепление отверстий не требуется.

Горячий теплоноситель:

$$d_{0Г} \geq d_{ргор}$$

Так как  $605.2 \geq 305.2$  мм укрепление отверстий не требуется.

### 3.8 Поверочный расчет кожухотрубного теплообменного аппарата

Целью поверочного расчета является проверка работы теплообменного аппарата в заданных условиях.

Расчет проводим по ГОСТ 34233.7-2017 [10].

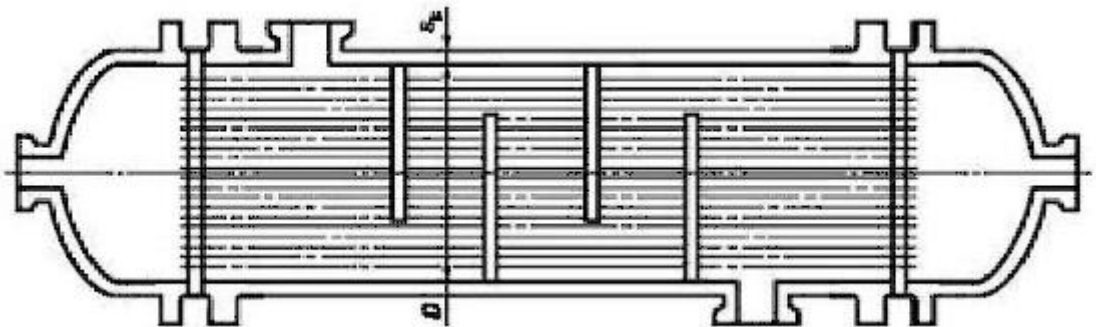


Рисунок 3.7 – Схема аппарата с неподвижными трубными решетками [10]

#### 3.8.1 Вспомогательные величины

Принимаем гладкие теплообменные трубы 25x2 мм из стали 12X18Н10Т по таблице 1 [17]:

Наружный диаметр труб, мм:

$$d_T := 25$$

Толщина стенки труб, мм:

$$s_T := 2$$

Коэффициент заполнения трубной решетки примем по [12]:

						Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\eta := 0.85$$

Определим шаг расположения труб по [12], мм:

$$t_p := 1.2 \cdot d_T + 2 = 32 \quad (3.36)$$

Количество труб в трубной решётке: [12]:

$$i := \eta \cdot \left[ \left( \frac{D}{1.1 \cdot t_p} \right)^2 \right] = 246.965 \quad (3.37)$$

Примем количество труб в трубной решётке в соответствии с таблице 4.12 [1]:

$$i_w := 257$$

Диаметр развальцовки, мм:

$$d_{\text{разв}} := 25.7$$

Площадь сечения простенка решётки между соседними трубами, мм<sup>2</sup>:

$$f_M := 4.35 \cdot d_T + 15 = 123.75 \quad (3.38)$$

Толщина решетки, мм:

$$s_{\text{реш}} := \frac{f_M}{t_p - d_{\text{разв}}} = 19.643 \quad (3.39)$$

По [19] минимальная толщина трубной решетки для труб 25x2, мм:

$$s_{\text{реш}} := 31$$

Так как трубная решетка выполняется заподлицо с фланцем, принимаем, что толщина решетки равна толщине фланца по [8]:

Толщина трубной решетки, мм:

$$s_{\text{реш}} := 50$$

Относительная характеристика бесшовного края трубной решетки по формуле 1 [10]:

$$m_n := \frac{a}{a_1} \quad (3.40)$$

Где  $a$  – Внутренний радиус кожуха, мм;

$a_1$  – расстояние от оси аппарата до оси наиболее удаленной теплообменной трубки равно, мм;

Внутренний радиус кожуха, мм:

$$a := \frac{D}{2} = 300$$

										Лист
										47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

По [17] расстояние от оси аппарата до оси наиболее удаленной теплообменной трубки равно, мм:

$$a_1 := 0.525 \cdot t_p \cdot \sqrt{i} = 269.324 \quad (3.41)$$

Относительная характеристика бесшовного края трубной решетки:

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.114$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку:

Со стороны межтрубного пространства по формуле 2 [10]:

$$\eta_M := 1 - \frac{i \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.446 \quad (3.42)$$

Со стороны трубного пространства по формуле 3 [10]:

$$\eta_T := 1 - \frac{i \cdot (d_T - 2 \cdot s_T)^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.609 \quad (3.43)$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата:

Модуль упругости основания (системы труб) по формуле 4 [10], Н/мм<sup>3</sup>:

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l} \quad (3.44)$$

Где  $E_T$  – модуль упругости для стали 12X18H10T при температуре 70 °С, МПа;

$\eta_T$  – коэффициенты влияния давления на трубную решетку со стороны трубного пространства;

$\eta_M$  – коэффициенты влияния давления на трубную решетку со стороны межтрубного пространства;

$l$  – половина длины трубы теплообменного аппарата, мм;

Модуль упругости для стали 12X18H10T при температуре 70 °С по [3], МПа:

$$E_T := 2.00 \cdot 10^5$$

Половина длины трубы теплообменного аппарата, мм:

$$l := \frac{4000}{2} = 2 \times 10^3$$

Модуль упругости основания (системы труб) по формуле 4 [10], Н/мм<sup>3</sup>:

$$K_y := \frac{E_T \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l} = 16.298$$

									Лист
									48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле 5 [10]:

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_k \cdot s_o} \quad (3.45)$$

Где  $E_k$  – модуль упругости для стали 09Г2С при температуре 70 °С, МПа;

Модуль упругости для стали 09Г2С при температуре 70 °С по [3], МПа:

$$E_k := 1.94 \cdot 10^5$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха:

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{E_k \cdot s_o} = 7.542$$

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 [10], МПа:

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

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

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

$$\psi_0 = 0.313$$

$$\eta_T := 0.609$$

Коэффициент ослабления трубной решетки по приложению Б [10]:

$$\varphi_p := 1 - \frac{d_0}{t_p} \quad (3.46)$$

Где  $d_0$  – диаметр отверстия в решетке, мм;

						Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Диаметр отверстия в решетке, мм:

$$d_0 := 25.7$$

Коэффициент ослабления трубной решетки:

$$\varphi_p := 1 - \frac{d_0}{t_p} = 0.197 \quad (3.47)$$

Коэффициент жесткости втулки фланца кожуха при изгибе, Н·мм:

$$K_1 := \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_K \cdot s_1^3}{5.5 \cdot R_1} \quad (3.48)$$

Где  $\beta_1$  – коэффициент системы кожух – решетка, 1/мм;

$R_1$  – радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм;

Коэффициент системы кожух – решетка по приложению В [10], 1/мм:

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_1}} \quad (3.49)$$

Где  $s_1$  – толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой, мм;

Примем по [20] толщину стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой, мм:

$$s_1 := s_0$$

Коэффициент системы кожух – решетка, 1/мм:

$$\beta_1 := \frac{1.3}{\sqrt{a \cdot s_1}} = 0.031$$

Радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм:

$$R_1 := \frac{D_H + D}{4} \quad (3.50)$$

Где  $D_H$  – диаметр фланца, мм;

Диаметр фланца по [8], мм:

$$D_H := 740$$

Радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм:

$$R_1 := \frac{D_H + D}{4} = 335$$

Коэффициент жесткости втулки фланца кожуха при изгибе, Н·мм:

$$K_1 := \frac{\beta_1 \cdot a \cdot E_K \cdot s_1^3}{5.5 \cdot R_1} = 2.091 \times 10^5$$

					Лист
					50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

По [21] выбираем прокладку:

Внутренний диаметр прокладки, мм:

$$d_{\Pi} := 651$$

Наружный диаметр прокладки, мм:

$$D_{\Pi} := 677$$

Условный проход прокладки:

$$B_1 := d_{\Pi}$$

Коэффициент жесткости фланца кожуха при изгибе, Н·мм:

$$K_{\phi 1} := \frac{E_T \cdot h_1^3 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \cdot \left( 1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2} \right) \quad (3.51)$$

Где  $h_1$  – толщина тарелки фланца кожуха, мм;

Толщина тарелки фланца кожуха, мм:

$$h_1 := 50$$

Коэффициент жесткости фланца кожуха при изгибе, Н·мм:

$$K_{\phi 1} := \frac{E_T \cdot h_1^3 \cdot B_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \cdot \left( 1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2} \right) = 1.245 \times 10^7$$

Коэффициенты системы решетка-трубы вычисляются по формуле 8 [10], 1/мм:

$$\beta := \frac{1.82}{s_{\text{реш}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_{\text{реш}}}{\psi_0 \cdot E_T}} = 0.012 \quad (3.52)$$

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

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 3.312 \quad (3.53)$$

### 3.8.2 Определение усилий в элементах теплообменного аппарата

#### Исходные данные:

Температурные коэффициенты линейного расширения труб и корпуса [3],  $K^{-1}$ :

$$\alpha_T := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_K := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

Температура корпуса и труб, °С;

$$t_K := 70$$

						Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$t_T := 5$$

Температура сборки аппарата, °С;

$$t_0 := 20$$

Рабочие давления в трубном и межтрубном пространстве, МПа;

$$p_T := 2.00$$

$$p_M := 1.5$$

### Расчетные параметры:

Приведенное давление вычисляются по формуле 11 [10], МПа:

$$p_0 := p_{11} + p_{22} - p_{33} \quad (3.54)$$

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

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

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

Где  $m_{cp}$  – коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб;

Коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб по формуле 12 [10]:

$$m_{cp} := 0.15 \cdot \frac{i \cdot (d_T - s_T)^2}{a_1^2} = 0.281 \quad (3.55)$$

Тогда приведенное давление, МПа:

$$p_0 := p_{11} + p_{22} - p_{33} = 32.314$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения по формуле 13 [10]:

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1} \quad (3.56)$$

Где  $K_\phi$  – коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе, Н·мм;

Коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе, Н·мм;

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

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения:

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_\phi \cdot R_1} = 2.087$$

						Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Коэффициенты  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ , учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб определяют по таблице 1 [10]:

$$\omega := \begin{pmatrix} 3 \\ 3.5 \end{pmatrix} \quad \Phi_1 := \begin{pmatrix} 4.5 \\ 5.39 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_1 := \text{linterp}(\omega, \Phi_1, 3.312)$$

$$\Phi_1 = 5.055$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 3 \\ 3.5 \end{pmatrix} \quad \Phi_2 := \begin{pmatrix} 2.94 \\ 3.59 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_2 := \text{linterp}(\omega, \Phi_2, 3.312)$$

$$\Phi_2 = 3.346$$

$$\omega := \begin{pmatrix} 3 \\ 3.5 \end{pmatrix} \quad \Phi_3 := \begin{pmatrix} 4.65 \\ 5.36 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_3 := \text{linterp}(\omega, \Phi_3, 3.312)$$

$$\Phi_3 = 5.093$$

$$\omega := 3.312$$

Значения коэффициентов  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб вычисляют по формулам 14,15,16,17 [10]:

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5 \cdot (1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)] \quad (3.57)$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t \quad (3.58)$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n \quad (3.59)$$

Где  $t$  – безразмерный параметр;

$$t := 1 + 1.4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1) = 1.528 \quad (3.60)$$

Значения коэффициентов  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ :

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5 \cdot (1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)] = 9.238$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t = 5.112$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 5.673$$

По формулам 20,21,22 [10]:

Приведенное давление на фланцы, МПа:

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) \quad (3.61)$$

						Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Где  $m_1$  – коэффициент влияния давления на изгиб 1-го фланца, мм<sup>2</sup>;

$m_2$  – коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца, мм<sup>2</sup>;

Коэффициент влияния давления на изгиб 1-го фланца, мм<sup>2</sup>:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2} = 1.348 \times 10^3 \quad (3.62)$$

Так как фланцы на кожухе одинаковые, коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца, мм<sup>2</sup>:

$$m_2 := m_1$$

Приведенное давление на фланцы, МПа:

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot p_M - m_2 \cdot p_T) = -0.072$$

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

Изгибающий момент по формуле 18 [10], (Н·мм)/мм:

$$M_n := \frac{a_1}{\beta} \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -3.561 \times 10^4 \quad (3.63)$$

Перерезывающую силу по формуле 19 [10], Н/мм:

$$Q_n := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 660.985 \quad (3.64)$$

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

Изгибающий момент по формуле 23 [10], (Н·мм)/мм:

$$M_a := M_n + (a - a_1) \cdot Q_n = -1.533 \times 10^4 \quad (3.65)$$

Перерезывающую силу по формуле 24 [10], Н/мм:

$$Q_a := m_n \cdot Q_n = 736.27 \quad (3.66)$$

Осевая сила и изгибающий момент, действующие на трубу:

Осевая сила по формуле 25 [10], Н:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot [(\eta_M \cdot p_M - \eta_T \cdot p_T) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a] = 9.69 \times 10^3 \quad (3.67)$$

Изгибающего момента по формуле 26 [10], Н·мм:

									Лист
									54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{пр}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) \quad (3.68)$$

Где  $J_T$  – момент инерции поперечного сечения трубы, мм<sup>4</sup>;

$l_{пр}$  – приведенная длина трубы, мм;

Момент инерции поперечного сечения трубы, мм<sup>4</sup>:

$$J_T := \frac{\pi \cdot (d_{внеш}^4 - d_{внутр}^4)}{64} \quad (3.69)$$

Где  $d_{внеш}$  и  $d_{внутр}$  – внешний и внутренний диаметр трубки равны, мм;

Внешний и внутренний диаметр трубки равны, мм:

$$d_{внеш} := 25$$

$$d_{внутр} := 21$$

Момент инерции поперечного сечения трубы, мм<sup>4</sup>:

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

Приведенная длина трубы, мм:

$$l_{пр} := l_{2R}$$

Принимаем аппарат с перегородками в кожухе, тогда по стр.17 [10] максимальный пролет трубы между перегородками, мм:

$$l_{2R} := 300$$

Тогда приведенная длина трубы, мм:

$$l_{пр} := 300$$

Изгибающего момента по формуле 26 [10], Н·мм:

$$M_T := \frac{E_T \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot l_{пр}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = 2.703 \times 10^4$$

Усилия в кожухе:

Усилие, распределенное по периметру кожуха по формуле 27 [10], Н/мм:

$$Q_k := \frac{a}{2} \cdot p_T - Q_n = -360.985 \quad (3.70)$$

Изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха по формуле 28 [10], (Н·мм)/мм:

						Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_k := \frac{K_1}{\rho \cdot K_\phi \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_n + T_3 \cdot \beta \cdot M_n) - \frac{P_M}{2 \cdot \beta_1^2} = -631.93 \quad (3.71)$$

Суммарная осевая сила, действующая на кожух по формуле 29 [10], Н:

$$F_{\text{сум}} := \pi \cdot D \cdot Q_k = -6.804 \times 10^5 \quad (3.72)$$

### 3.8.3 Расчетные напряжения в элементах конструкции

Принимаем трубную решетку, приваренную втавр к обечайке кожуха по [10]:

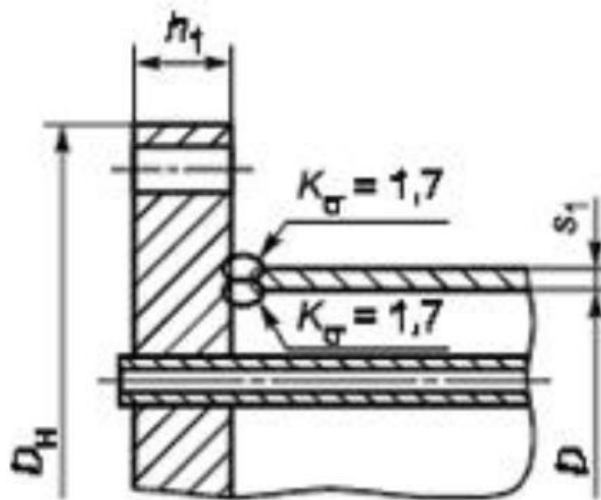


Рисунок 3.8 – Решетка, приваренная втавр к обечайке кожуха [10]

#### Исходные данные:

Толщина решетки, мм;

$$s_{1p} := s_{\text{реш}}$$

$$s_{1p} = 50$$

#### Расчетные параметры:

Ширина тарелки фланца кожуха, мм:

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} \quad (3.73)$$

$$b_1 = 70$$

Толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой или фланцем, мм:

$$s_{1\text{сум}} := s_0$$

Расчетные напряжения в трубных решетках:

						Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом, МПа:

Изгибные по формуле 30 [10]:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_n|}{(s_{1p} - c_d)^2} = 88.809 \quad (3.74)$$

Касательные по формуле 31 [10]:

$$\tau_{p1} := \frac{|Q_n|}{(s_{1p} - c_d)} = 13.476 \quad (3.75)$$

При  $-1 \leq (\beta \cdot M_a)/Q_a \leq 1$  максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки по формуле 34 [10], (Н·мм)/мм:

$$M_{\max} := A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} \quad (3.76)$$

Где А – коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки;

Коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки, определяемый по таблице Г.2 [10] в зависимости от  $\omega$  и  $m_A$ :

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = -0.256 \quad (3.77)$$

$$\omega = 3.312$$

$$A := 0.308$$

Максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки, (Н·мм)/мм:

$$M_{\max} := A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} = 1.844 \times 10^4$$

Проверка условия прочности на изгибающий момент:

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

Так как  $1.533 \cdot 10^4 \leq 1.844 \cdot 10^4$  (Н·мм)/мм условие прочности на изгибающий момент выполнено.

Напряжения в перфорированной части трубной решетки, МПа:

Изгибные по формуле 32 [10]:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\varphi_p \cdot (s_{1p} - c_d)^2} = 233.559 \quad (3.78)$$

					Лист
					57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Касательные по формуле 33 [10]:

$$\tau_{p2} := \frac{|Q_a|}{\varphi_p \cdot (s_{1p} - c_d)} = 76.244 \quad (3.79)$$

Напряжения в коже в месте присоединения к решетке, МПа:

В меридиональном направлении:

Мембранные по формуле 38 [10]:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_1 - c_d)} = 71.482 \quad (3.80)$$

Изгибные по формуле 39 [10]:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_1 - c_d)^2} = 148.675 \quad (3.81)$$

В окружном направлении:

Мембранные по формуле 40 [10]:

$$\sigma_{M\varphi} := \frac{|p_M| \cdot a}{(s_1 - c_d)} = 89.109 \quad (3.82)$$

Изгибные по формуле 41 [10]:

$$\sigma_{u\varphi} := 0.3 \cdot \sigma_{ux} = 44.602 \quad (3.83)$$

Напряжения в трубах, МПа:

В осевом направлении:

Мембранные по формуле 42 [10]:

$$\sigma_{1T} := \frac{|N_T|}{\pi \cdot (d_T - s_T) \cdot s_T} = 67.056 \quad (3.84)$$

Суммарные по формуле 43 [10]:

$$\sigma_1 := \sigma_{1T} + \frac{d_T \cdot |M_T|}{2 \cdot J_T} = 102.143 \quad (3.85)$$

В окружном направлении по формуле 44 [10]:

$$\sigma_{2T} := \frac{(d_T - s_T) \max(|p_T|, |p_M|, |p_T - p_M|)}{2 \cdot s_T} = 11.5 \quad (3.86)$$

### 3.8.4 Расчет прочности и устойчивости кожуха

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке по формуле 53 [10]:

$$\sigma_{Мк} \leq 1.3\sigma_{дк}$$

Так как  $71.482 \leq 239.85$  МПа условие статической прочности выполняется.

Условие местной устойчивости от сжимающей силы [5]:

$$|F| \leq F_{д}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие вычисляют по формуле 14 [5], Н:

$$F_{д} := \frac{F_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\Pi}}{F_{E}}\right)^2}} \quad (3.87)$$

Где  $F_{\Pi}$  – допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности, Н;

$F_{E}$  – допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости, Н;

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности вычисляют по формуле 15 [5], Н:

$$F_{\Pi} := \pi(D + s_o - c_o)(s_o - c_o) \cdot \sigma_{дк} = 1.189 \times 10^6 \quad (3.88)$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости по формуле 17 [5], Н:

$$F_{E} := \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E_T}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100(s_o - c_o)}{D} \right]^{2.5} \quad (3.89)$$

Где  $n_y$  – коэффициент запаса устойчивости;

Для рабочих условий коэффициент запаса устойчивости:

$$n_y := 2.4$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости, Н:

$$F_{E} := \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E_T}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100(s_o - c_o)}{D} \right]^{2.5} = 2.248 \times 10^6$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие, Н:

					Лист
					59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

$$F_d := \frac{F_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\Pi}}{F_E}\right)^2}} = 1.051 \times 10^6$$

Так как  $6.804 \cdot 10^5 \leq 1.051 \cdot 10^6$  Н условие местной устойчивости выполняется.

### 3.8.5 Проверка прочности трубных решеток

Проверка статической прочности:

$$\max(\tau_{p1}, \tau_{p2}) \leq 0.8\sigma_{др}$$

Допускаемое напряжение для материала 12X18Н10Т при температуре 70 °С по [3], МПа:

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

$$\sigma_{др} := \text{Ceil}(\text{linterp}(t, \sigma_{др}, t_{\text{к}}), 0.5) = 178$$

Так как  $76.244 \leq 142.4$  МПа условие статической прочности выполняется.

Исходя из [10], проверку жесткости трубной решетки проводить не требуется, так как к жесткости трубных решеток не предъявляются какие-либо дополнительные требования.

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

Проверка условия статической прочности труб:

$$\max(\sigma_{1T}, \sigma_{2T}) \leq \sigma_{dT}$$

Допускаемое напряжение для материала труб 12X18Н10Т при температуре 70 °С по [3]:

$$\sigma_{dT} := \sigma_{др}$$

Так как  $67.056 \leq 178$  МПа условие статической прочности выполняется.

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

Осевая сила, действующая на трубу, Н:

$$N_T = 9.69 \times 10^3$$

Исходя из [10], проверку жесткости труб проводить не требуется, так как к жесткости труб не предъявляются какие-либо дополнительные требования.

Проверка условия прочности крепления трубы в решетке:

									Лист
									60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Условие крепления труб в трубной решетке:

$$|N_T| \leq [N]_{\text{тр}}$$

Примем, что гладкие теплообменные трубы крепятся развальцовкой.

По приложению Е [10] для гладкозавальцованных труб допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой равна, Н:

$$[N]_{\text{тр}} := 0.5 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \min\left(\frac{l_B}{d_T}, 1.6\right) \min(\sigma_{\text{дт}}, \sigma_{\text{др}}) \quad (3.90)$$

Где  $l_B$  – глубина развальцовки, мм;

Глубина развальцовки, мм:

$$l_B := 26$$

Допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой равна, Н:

$$[N]_{\text{тр}} := 0.5 \cdot \pi \cdot s_T \cdot (d_T - s_T) \min\left(\frac{l_B}{d_T}, 1.6\right) \min(\sigma_{\text{дт}}, \sigma_{\text{др}}) = 1.338 \times 10^4$$

Так как  $9.69 \cdot 10^3 \leq 1.338 \cdot 10^4$  Н условие прочности выполняется.

### 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 [18] не проводится.

Исходя из полученных данных, принят стандартный теплообменник типа 600ТНВ-2.5-М25-Н/25Г-4-1-У.

### 3.9 Расчет фланцевого соединения (поз. Д)

Целью данного расчета является проверка прочности фланцев, шпилек и прокладок, а также расчет герметичности фланцевого соединения.

Так как в теплообменнике будет находиться органический газ, то следует выбрать фланцевое соединение по привалочной поверхности, отвечающее требованиям пожаро- и взрывоопасности, а также подходящее по давлению.

Исходя из рекомендаций, принимаем фланцевое соединение с уплотнительной поверхностью шип-паз.

						Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

**Исходные данные:**

Внутренний диаметр днища, мм;

$$D := 600$$

Внутреннее давление, МПа;

$$P_{ЭГ} := 2.0$$

Число болтов;

$$n := 32$$

Прибавка на коррозию, мм;

$$c_d := 0.95$$

Максимальная температура среды, °С;

$$t := 5$$

Изгибающий момент, Н·мм;

$$M := 0$$

Сжимающее усилие, Н;

$$F_{\text{сж}} := 0$$

Принимаем фланец по таблице 1 [8]:

Диаметр фланца, мм;

$$D_H := 740$$

Диаметр болтовой окружности, мм;

$$D_6 := 700$$

Диаметр отверстия под болты, мм;

$$d := 20$$

Измерено на чертеже:

Толщина тарелки фланца, мм;

$$h := 50$$

Толщина втулки приварного встык фланца в месте приварки к днищу, мм;

$$S_0 := 6$$

Толщина втулки приварного встык фланца в месте присоединения к тарелке, мм;

$$S_1 := 22$$

Длина конической втулки приварного встык фланца, мм;

$$l_{\text{кв}} := 35$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек, мм;

						Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$L_{60} := 100$$

Выбираем прокладку типа В по таблице 5 [21]:

Наружный диаметр прокладки, мм;

$$D_{\text{нп}} := 677$$

Ширина прокладки, мм;

$$b_{\text{п}} := 26$$

Толщина прокладки, мм;

$$h_{\text{п}} := 2$$

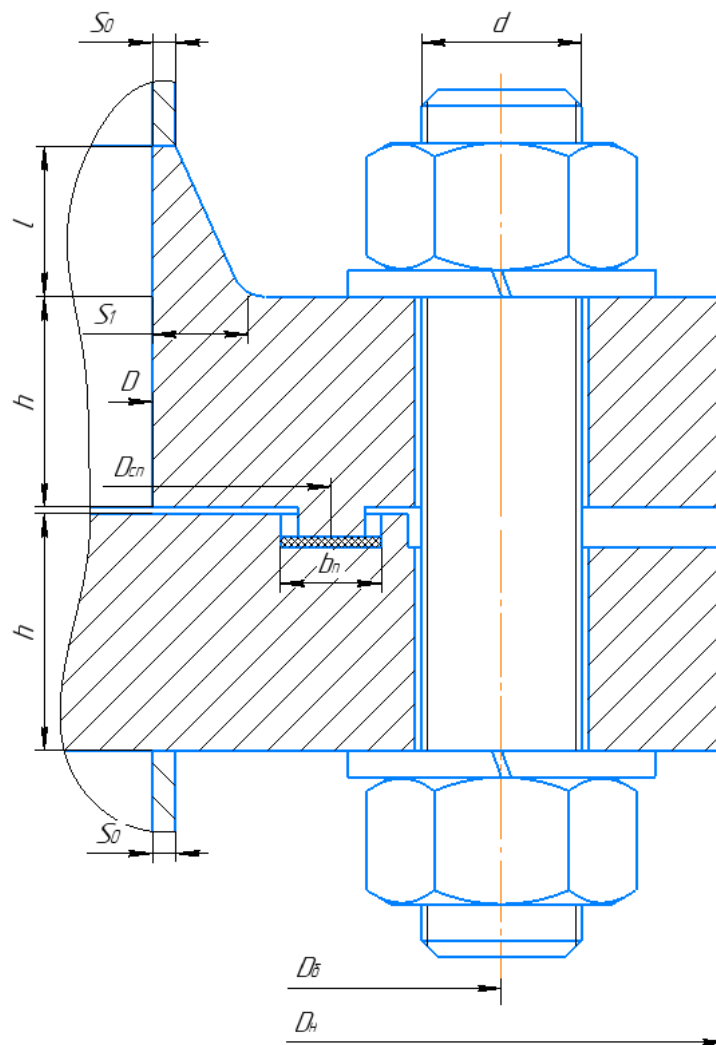


Рисунок 3.9 – Фланцевое соединение с приварными встык фланцами с уплотнительной поверхностью типа шип-паз [22]

Согласно рекомендациям по таблице 21.14 [2]:

Материал днищ и фланцев - сталь 12X18Н10Т;

Материал шпилек - сталь 40Х;

					Лист
					63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Материал прокладки – ПОН.

### 3.9.1 Основные расчетные значения

Расчетные температуры:

Температура неизолированных приварных встык фланцев по таблице В1 [22], °С:

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t = 4.8$$

Принимаем температуру фланцев, °С:

$$t_{\phi} := 20$$

Температура шпилек по таблице В1 [22], °С:

$$t_{\sigma} := 0.85 \cdot t = 4.25$$

Принимаем температуру шпилек, °С:

$$t_{\sigma} := 20$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 40Х по таблице Г1 [22], МПа:

$$\sigma_{д\sigma} := 230$$

Модуль упругости для шпилек из стали 40Х по таблице Ж1 [22], МПа:

$$E_{\sigma} := 2.18 \cdot 10^5$$

Коэффициент линейного расширения стали 40Х при  $t=20-100^{\circ}\text{C}$  [22],  $\text{K}^{-1}$ :

$$\alpha_{\sigma} := 13.4$$

Допускаемые напряжения для днищ и фланцев из стали 12Х18Н10Т по [3], МПа:

$$\sigma_{\phi} := 184$$

Так как фланцы изготавливаются из листового проката:

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{д\phi} := \sigma_{\phi} \cdot \eta = 184$$

Модуль упругости для шпилек из стали 12Х18Н10Т по таблице В1 [22], МПа:

$$E_{\phi} := 2.0 \cdot 10^5$$

Коэффициент линейного расширения стали 12Х18Н10Т при  $t = 20-100^{\circ}\text{C}$  по таблице Г1 [22],  $\text{K}^{-1}$ :

$$\alpha_{\phi} := 16.6$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 40Х при затяжке в рабочих условиях вычисляются по формуле Г3 [23], МПа:

					Лист
					64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	



$$\sigma_{дбз} := \xi \cdot K_{урр} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot \sigma_{дб} \quad (3.91)$$

Где  $\xi$  – коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке;

$K_{урр}$  – коэффициент условий работы для рабочих условий;

$K_{уз}$  – коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке;

$K_{ут}$  – коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций;

Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке:

$$\xi := 1.2$$

Коэффициент условий работы для рабочих условий:

$$K_{урр} := 1$$

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{уз} := 1$$

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

$$K_{ут} := 1.3$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 40Х при затяжке в рабочих условиях, МПа:

$$\sigma_{дбз} := \xi \cdot K_{урр} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot \sigma_{дб} = 358.8$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 40Х при расчете на условия испытания вычисляются по формуле Г4 [23], МПа:

$$\sigma_{дби} := K_{ури} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot \sigma_{дб} \quad (3.92)$$

Где  $K_{ури}$  – коэффициент условий работы для рабочих условий;

Коэффициент условий работы для условий испытания:

$$K_{ури} := 1.35$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 40Х при расчете на условия испытания, МПа:

$$\sigma_{дби} := K_{ури} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot \sigma_{дб} = 403.65$$

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

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле 8 [22], Н:

						Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$P_{обж} := 0.5 \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} \quad (3.93)$$

Где  $D_{сп}$  – расчетный диаметр плоской прокладки, мм;

$b_0$  – эффективная ширина плоской прокладки, мм;

$q_{обж}$  – удельное давление обжатия прокладки, МПа;

Эффективная ширина плоской прокладки по формуле 5 [22], мм:

$$b_0 := 3.8 \cdot \sqrt{b_{п}} = 19.376 \quad (3.94)$$

Расчетный диаметр плоской прокладки по формуле 7 [22], мм:

$$D_{сп} := D_{нп} - b_0 = 657.624 \quad (3.95)$$

Характеристики прокладки по таблице И1 [22]:

Прокладочный коэффициент:

$$m := 2.5$$

Удельное давление обжатия прокладки, МПа:

$$q_{обж} := 20$$

Допускаемое удельное давление, МПа:

$$q_d := 130$$

Коэффициент обжатия:

$$K_{обж} := 0.9$$

Условный модуль сжатия прокладки, МПа:

$$E_{п} := 0.02 \cdot 10^5$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке, Н:

$$P_{обж} := 0.5 \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 4.003 \times 10^5$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения по формуле 9 [22], Н:

$$R_{п} := \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot p_{эт} = 2.002 \times 10^5 \quad (3.96)$$

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

Площадь поперечного сечений шпилек для М20 по прил. Д [22], мм<sup>2</sup>:

$$f_6 := 225$$

						Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра по формуле 10 [22], мм<sup>2</sup>:

$$A_6 := n \cdot f_6 = 7.2 \times 10^3 \quad (3.97)$$

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле 11 [22], Н:

$$Q_d := 0.785 \cdot D_{сп}^2 \cdot p_{эт} = 6.79 \times 10^5 \quad (3.98)$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента по формуле 12 [22], Н:

$$Q_{FM} := F + \frac{4M}{D_{сп}} = 0 \quad (3.99)$$

### 3.9.4 Податливость прокладки и шпилек

Податливость прокладки по формуле К.1 [22], мм/Н:

$$y_{п} := \frac{h_{п} \cdot K_{обж}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 1.675 \times 10^{-8} \quad (3.100)$$

Податливость шпилек по формуле К.2 [22], мм/Н:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_6 \cdot A_6} \quad (3.101)$$

Где  $L_6$  – эффективная длина шпильки при определении податливости, мм;

Эффективная длина шпильки при определении податливости [22], мм:

$$L_6 := L_{60} + 0.56d = 111.2 \quad (3.102)$$

Податливость шпилек, мм/Н:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_6 \cdot A_6} = 7.085 \times 10^{-8}$$

### 3.9.5 Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

Параметр длины обечайки по формуле К.3 [22], мм:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 60 \quad (3.103)$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру по формуле К.4 [22]:

						Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.233 \quad (3.104)$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца по формулам К.5 - К.8 [22]:

$$\beta_T := \frac{K^2(1 + 8.55 \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2)(K - 1)} = 1.824 \quad (3.105)$$

$$\beta_U := \frac{K^2(1 + 8.55 \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1)(K - 1)} = 10.314 \quad (3.106)$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 9.475 \quad (3.107)$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 4.838 \quad (3.108)$$

Отношение толщины втулки в сечении  $S_1$  к толщине в сечении  $S_0$  по формуле К.9 [22]:

$$\beta := \frac{S_1}{S_0} = 3.667 \quad (3.109)$$

Относительная длина втулки фланца по формуле К.10 [22]:

$$x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0.017 \quad (3.110)$$

Коэффициент  $\lambda$  по формуле К.11 [22]:

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot S_0^2} \quad (3.111)$$

Где  $\beta_F$  и  $\beta_V$  – коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами зависящие от соотношения размеров втулки фланца;

Коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами зависящие от соотношения размеров втулки фланца по графикам К2-К3 [22]:

$$\beta_F := 0.79$$

$$\beta_V := 0.1$$

Значение коэффициента  $\lambda$ :

						Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot S_0^2} = 1.47$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле К.12 [22], 1/(Н·мм):

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_\phi \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot S_0^2} = 1.433 \times 10^{-10} \quad (3.112)$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками по формуле К.18 [22]:

$$C_F := \max \left( 1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2d + \frac{6h}{m + 0.5}}} \right) = 1.279 \quad (3.113)$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца по формуле К.19 [22] при  $D \geq 20S_1$ , мм:

$$D_{пр} := D$$

### 3.9.6 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.1 [22], мм:

$$b := 0.5(D_6 - D_{сп}) = 21.188 \quad (3.114)$$

Плечо усилия от действия давления на фланец по формуле Е.4 [22], мм:

$$e_{\text{дв}} := 0.5(D_{сп} - D - S_3) \quad (3.115)$$

Где  $S_3$  – эквивалентная толщина втулки фланцев, мм

Эквивалентная толщина втулки фланцев по формуле Е.5 [22], мм:

$$S_3 := \zeta \cdot S_0 \quad (3.116)$$

Где  $\zeta$  – коэффициент, зависящий от соотношения размеров втулки фланца;

Коэффициент  $\zeta$  находим по формуле Е.6 [22]:

$$\zeta := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.038 \quad (3.117)$$

Эквивалентная толщина втулки фланцев, мм:

$$S_3 := \zeta \cdot S_0 = 6.225$$

						Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Плечо усилия от действия давления на фланец, мм:

$$e := 0.5(D_{\text{сп}} - D - S_3) = 25.699$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле E.8 [22], Н/мм:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\text{б}} \cdot \frac{E_{\text{б}}}{E_{\text{б}}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E_{\Phi}}{E_{\Phi}}} = 4.625 \times 10^6 \quad (3.118)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, для приварных встык фланцев с плоскими прокладками по формуле E.11 [22]:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2e \cdot y_{\Phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\text{б}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi}} = 1.644 \quad (3.119)$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами по формуле 13 [22], Н:

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - \alpha_{\text{б}} \cdot 2 \cdot h \cdot (t_{\text{б}} - 20)] = 0 \quad (3.120)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле 17 [22], Н:

$$P_{\text{бМ}} := \max(P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}}) \quad (3.121)$$

Где  $P_{\text{б1}}$  – расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения, Н;

$P_{\text{б2}}$  – расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения шпилек, Н;

Найдем значение величин  $P_{\text{б1}}$  и  $P_{\text{б2}}$ , Н:

$$P_{\text{б1}} := \max[\alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi}, \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} - Q_t] = 1.316 \times 10^6 \quad (3.122)$$

$$P_{\text{б2}} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot \sigma_{\text{дб}}) = 6.624 \times 10^5 \quad (3.123)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле 17 [22], Н:

$$P_{\text{бМ}} := \max(P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}}) = 1.316 \times 10^6$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях по формуле 18 [22], Н:

						Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$P_{\text{бр}} := P_{\text{бм}} + (1 - \alpha)(Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}} = 8.791 \times 10^5 \quad (3.124)$$

### 3.9.7 Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения в шпильках, МПа:

При затяжке по формуле 19 [22]:

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бм}}}{A_{\text{б}}} = 182.835 \quad (3.125)$$

В рабочих условиях по формуле 20 [22]:

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{бр}}}{A_{\text{б}}} = 122.102 \quad (3.126)$$

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

$$\sigma_{\text{б1}} \leq \sigma_{\text{дбз}} \quad \text{и} \quad \sigma_{\text{б2}} \leq \sigma_{\text{дби}}$$

Так как  $182.835 \leq 358.8$  МПа и  $122.102 \leq 403.65$  МПа условие прочности шпилек выполняется.

Условие прочности прокладки по формуле 23 [22]:

$$q \leq q_{\text{д}}$$

Удельное давление на прокладку, МПа:

$$q := \frac{\max(P_{\text{бм}}, P_{\text{бр}})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 24.507 \quad (3.127)$$

Так как  $24.507 \leq 130$  МПа условие прочности прокладки выполняется.

### 3.9.8 Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец или плоский фланец при затяжке по формуле 24 [22], Н·мм:

$$M_{\text{м}} := C_{\text{Ф}} \cdot P_{\text{бм}} \cdot b = 3.568 \times 10^7 \quad (3.128)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях по формуле 26 [22], Н·мм:

$$M_{\text{р}} := C_{\text{Ф}} \cdot \max[P_{\text{бр}} \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{ФМ}}) \cdot e, |Q_{\text{д}} + Q_{\text{ФМ}}| \cdot e] = 4.615 \times 10^7 \quad (3.129)$$

						Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### Расчетные напряжения во фланце при затяжке

Меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца:

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$  по формуле 28 [22], МПа:

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_d)^2 \cdot D_{пр}} = 91.265 \quad (3.130)$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_0$  по формуле 29 [22], МПа:

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M} \cdot f \quad (3.131)$$

Где  $f$  – коэффициент увеличения изгибных напряжений в сечении  $S_0$  приварного встык фланца;

Коэффициент увеличения изгибных напряжений в сечении  $S_0$  приварного встык фланца по графику К4 [22]:

$$f := 3.9$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца в сечении  $S_0$ , МПа:

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M} \cdot f = 355.934$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки, МПа:

Радиальное напряжение по формуле 31 [22]:

$$\sigma_{RМ} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 30.339 \quad (3.132)$$

Окружное напряжение по формуле 32 [22]:

$$\sigma_{ТМ} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RМ} = 78.579 \quad (3.133)$$

### Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

Меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$  по формуле 34 [22], МПа:

$$\sigma_{1P} := \frac{M_P}{\lambda \cdot (S_1 - c_d)^2 \cdot D_{пр}} = 118.044 \quad (3.134)$$

Меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с

					Лист
					72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	



конической втулкой в сечении  $S_0$  по формуле 35 [22], МПа:

$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} \cdot f = 460.371 \quad (3.135)$$

Меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца:

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$  по формуле 37 [22], МПа:

$$\sigma_{p1mm} := \frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi(D + S_1)(S_1 - c_d)} = 16.507 \quad (3.136)$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_0$  по формуле 38 [22], МПа:

$$\sigma_{p0mm} := \frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi(D + S_0)(S_0 - c_d)} = 70.622 \quad (3.137)$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца в сечении  $S_0$  вычисляют по формуле 39 [22], МПа:

$$\sigma_{p0mo} := \frac{p_{эГ} \cdot D}{2(S_0 - c_d)} = 118.812 \quad (3.138)$$

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

Радиальное напряжение по формуле 40 [22]:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 39.241 \quad (3.139)$$

Окружное напряжение по формуле 41 [22]:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 101.636 \quad (3.140)$$

### Проверка условий статической прочности фланцев

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], МПа:

						Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{дМ} := 1.5 \cdot \sigma_{\phi} = 276 \quad (3.141)$$

$$\sigma_{дR} := 3 \cdot \sigma_{\phi} = 552 \quad (3.142)$$

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_1$  условия статической прочности:

При затяжке по формуле 43 [22]:

$$\max(|\sigma_{1М} + \sigma_{RМ}|, |\sigma_{1М} + \sigma_{ТМ}|) \leq K_T \cdot \sigma_{дМ}$$

Так как  $169.844 \leq 358.8$  МПа условие статической прочности выполняется.

При рабочих условиях по формуле 44 [22]:

$$\max(|\sigma_{1p} - \sigma_{p1ММ} + \sigma_{Rp}|, |\sigma_{1p} - \sigma_{p1ММ} + \sigma_{Tp}|, |\sigma_{1p} + \sigma_{p1ММ}|) \leq K_T \cdot \sigma_{дМ}$$

Так как  $203.173 \leq 358.8$  МПа условие статической прочности выполняется.

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $S_0$  условия статической прочности:

При затяжке по формуле 45 [22]:

$$\sigma_{0М} \leq 1.3 \cdot \sigma_{дR}$$

Так как  $355.934 \leq 717.6$  МПа условие статической прочности выполняется.

При рабочих условиях по формуле 46 [22]:

$$\max \begin{bmatrix} |\sigma_{0p} - \sigma_{p0ММ}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{p0ММ}| \\ |0.3\sigma_{0p} - \sigma_{p0мо}| \\ |0.3\sigma_{0p} + \sigma_{p0мо}| \\ |0.7\sigma_{0p} - (\sigma_{p0ММ} - \sigma_{p0мо})| \\ |0.7\sigma_{0p} + (\sigma_{p0ММ} - \sigma_{p0мо})| \end{bmatrix} \leq 1.3 \cdot \sigma_{дR}$$

Так как  $530.993 \leq 717.6$  МПа условие статической прочности выполняется.

Для фланцев всех типов в сечении  $S_0$  должно выполняться условие по формуле 53 [22]:

$$\max(|\sigma_{p0мо}|, |\sigma_{p0ММ}|) \leq \sigma_{\phi}$$

Так как  $118.812 \leq 184$  МПа условие статической прочности выполняется.

Для тарелок приварных встык фланцев должны выполняться условия:

При затяжке по формуле 54 [22]:

$$\max(|\sigma_{RМ}|, |\sigma_{ТМ}|) \leq K_T \cdot \sigma_{\phi}$$

Так как  $78.579 \leq 239.2$  МПа условие статической прочности выполняется.

						Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При рабочих условиях по формуле 55 [22]:

$$\max(|\sigma_{Rp}|, |\sigma_{Tp}|) \leq K_T \cdot \sigma_{\phi}$$

Так как  $101.636 \leq 239.2$  МПа условие статической прочности выполняется.

### 3.9.9 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца вычисляют по формуле 58 [22], рад:

$$\Theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{\phi}}{E_{\phi}} = 6.611 \times 10^{-3} \quad (3.143)$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца, рад:

$$D_{\Theta} := \begin{pmatrix} 400 \\ 2000 \end{pmatrix} \quad \Theta_d := \begin{pmatrix} 0.006 \\ 0.013 \end{pmatrix}$$

$$\Theta_d := \text{linterp}(D_{\Theta}, \Theta_d, D)$$

$$\Theta_d = 6.875 \times 10^{-3}$$

Коэффициент  $K_{\Theta}$  для рабочих условий:

$$K_{\Theta p} := 1$$

Коэффициент  $K_{\Theta}$  для условий испытания:

$$K_{\Theta и} := 1.3$$

Условие поворота фланца:

Для рабочих условий:

$$\Theta \leq K_{\Theta p} \cdot \Theta_d$$

Так как  $6.611 \cdot 10^{-3} \leq 6.875 \cdot 10^{-3}$  рад условие поворота фланца выполняется.

Для условий испытания:

$$\Theta \leq K_{\Theta и} \cdot \Theta_d$$

Так как  $6.611 \cdot 10^{-3} \leq 8.938 \cdot 10^{-3}$  рад условие поворота фланца выполняется.

### 3.9.10 Расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичных элементов фланцевого соединения, приведенного в [2], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [18] не проводится.

						Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таким образом, был проведен расчет на прочность фланцев, шпилек и прокладок, а также расчет герметичности фланцевого соединения. По данному расчету можно сделать вывод, что фланцевое соединение отвечает критериям надежности.

### 3.10 Расчет массы пустого и заполненного аппарата. Подбор опор (поз. 3)

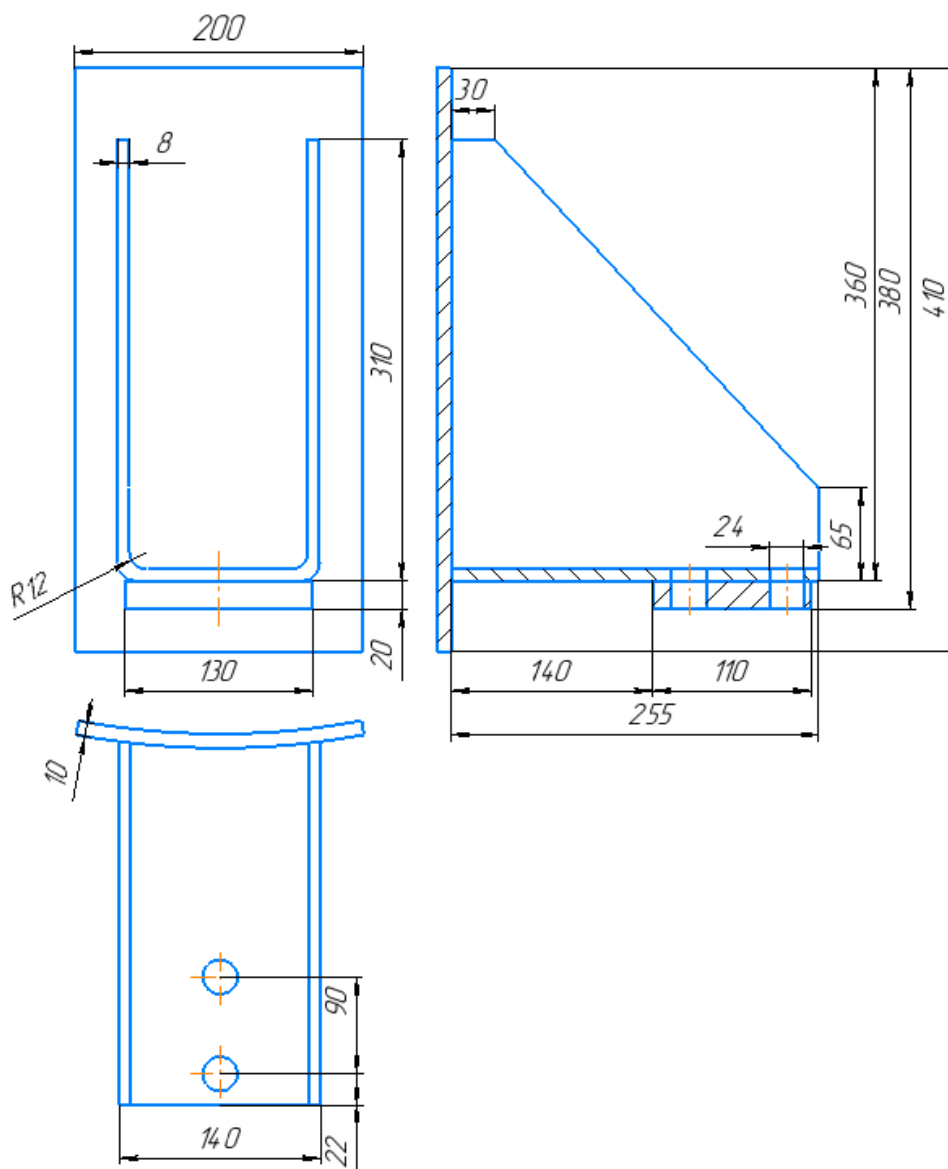


Рисунок 3.10 – Опоры для вертикальных цилиндрических аппаратов [2]

#### Исходные данные:

Наружный диаметр корпуса, м;

$$D_H := 0.612$$

Внутренний диаметр аппарата, м;

					Лист
					76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

	$D_{\text{вк}} := 0.600$
Внутренний диаметр крышки, м;	
	$D_{\text{кр}} := 0.600$
Внутренний диаметр труб, м;	
	$D_{\text{вт}} := 0.021$
Наружный диаметр труб, м;	
	$D_{\text{нт}} := 0.025$
Плотность воды, кг/м <sup>3</sup> ;	
	$\rho_{\text{с}} := 1000$
Толщина стенок труб, м;	
	$s_{\text{т}} := 0.002$
Толщина стенки корпуса, м;	
	$s_{\text{корп}} := 0.006$
Длина корпуса, м;	
	$L_{\text{корп}} := 4.0$
Длина труб, м;	
	$L_{\text{труб}} := 4.0$
Количество труб, м;	
	$n := 257$
Ускорение свободного падения, м/с <sup>2</sup> ;	
	$g := 9.81$
Плотность стали, кг/м <sup>3</sup> ;	
	$\rho_{\text{мет}} := 7850$
Толщина трубной решетки, м;	
	$s_{\text{тр}} := 0.05$
Диаметр трубной решетки, м;	
	$D_{\text{т.р1}} := 0.600$

**Расчетные параметры:**

Вес корпуса аппарата, Н:

										Лист
										77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$G_{\text{корп}} := \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{Н}}^2 - D_{\text{ВК}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{корп}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 3.519 \times 10^3 \quad (3.144)$$

Вес трубного пучка, Н:

$$G_{\text{труб.п}} := \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{НГ}}^2 - D_{\text{ВТ}}^2}{4} \right) \cdot L_{\text{труб}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g \cdot n = 1.144 \times 10^4 \quad (3.145)$$

Вес трубной решетки, Н:

$$G_{\text{труб.р}} := \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{т.р1}}^2}{4} \right) \cdot s_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 1.089 \times 10^3 \quad (3.146)$$

По [16] вес эллиптической крышки, Н:

$$G_{\text{э.к.}} := 21.1 \cdot g = 206.991 \quad (3.147)$$

Вес пустого аппарата, Н:

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

$$A_1 := (2G_{\text{э.к.}} + G_{\text{труб.р}} + G_{\text{корп}} + G_{\text{труб.п}}) \cdot 0.3 = 4.938 \times 10^3 \quad (3.148)$$

$$G_{\text{ап1}} := A_1 \cdot 2 = 9.877 \times 10^3 \quad (3.149)$$

Вес жидкости внутри аппарата при гидроиспытаниях, Н:

$$G_{\text{жид1}} := \left( \pi \cdot \frac{D_{\text{ВК}}^2}{4} \cdot 11.25 \right) \cdot \rho_{\text{с}} \cdot g = 3.12 \times 10^4 \quad (3.150)$$

Вес аппарата при гидроиспытаниях, Н:

$$G_{\text{ап2}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид1}} = 4.108 \times 10^4 \quad (3.151)$$

Нагрузка от собственной массы, Н:

$$F_{\text{ww}} := G_{\text{ап2}} = 4.108 \times 10^4 \quad (3.152)$$

Примем две опоры, тогда нагрузка на одну опору, Н:

$$\frac{F}{2} = 2.054 \times 10^4 \quad (3.153)$$

Примем по [2] опоры: ОВ-П-А-2500-10 ОН 26-01-69—68

						Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 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.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др.

Основными потребителями теплообменных аппаратов для подогрева газообразного этилена являются компании различных размеров, занимающиеся нефтепереработкой и научными исследованиями. На основании этих критериев строится карта сегментирования рынка.

Фирма А		Нефтепереработка	Научные исследования
Фирма Б			
Размер компании	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка теплообменных аппаратов для подогрева газообразного этилена

					ФЮРА.065111.001 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Студент	Трубинов А.В.				Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Тихонов Н.В.				Д	79	19
Конс.	Креницына З.В.				ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М.Кижнера Группа 4К51		
Н. Контр.							
Руков. ООП	Беляев В.М.						
					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		

На основании карты выбирают ниши на рынке не занятые конкурентами или где уровень конкуренции низок. Выбирают, как правило, два-три сегмента, на которые и направляют максимальные усилия и ресурсы предприятия. Как правило, выбирают сегменты со сходными характеристиками, которые будут формировать целевой рынок.

## 4.2 SWOT-анализ

**SWOT** – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Составление SWOT-анализа сводится к описанию сильных и слабых сторон рассчитанного аппарата, выявлению возможностей и угроз для его реализации, которые проявились или же имеют все шансы возникнуть в процессе эксплуатации.

Результаты SWOT-анализа представлять в табличной форме (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Простота и удобство эксплуатации.</p> <p>С2. Низкая стоимость.</p> <p>С3. Высокая эффективность работы.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Большое количество конкурентных производителей.</p> <p>Сл2. Отсутствие квалифицированных кадров.</p> <p>Сл3. Уровень проникновения только на отечественном рынке.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Растущий рынок.</p> <p>В2. Хорошая репутация среди потребителей.</p> <p>В3. Наличие стабильного рынка</p>	<p>1. Расширение рынка.</p> <p>2. Установление конкурентоспособных цен.</p> <p>3. Увеличение объемов производства.</p>	<p>1. Использование интереса к продукту для организации производства аппаратов.</p> <p>2. Создание квалифицированных кадров.</p> <p>3. Привлечение иностранных покупателей</p>



Продолжение таблицы 4.1

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
<b>Угрозы:</b> У1. Высокая конкуренция между производителями. У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У3. Отсутствие финансирования для проекта.	1. Использование стандартных деталей для более простой сертификации 2. Повышение спроса благодаря высоким техническим характеристикам аппарата и появлению конкуренции. 3. Поиск инвесторов для финансирования проекта используя для рекламы технические характеристики аппарата.	1. Привлечение инвестиций. 2. Создание квалифицированных кадров. 3. Усовершенствование технологии для привлечения новых потребителей.

Проанализировав SWOT-анализ, можно сделать вывод, что для выхода на лидирующие позиции на рынке необходимо провести ряд следующих преобразований:

- Использовать при создании аппарата стандартные детали для более простой сертификации и эксплуатации;
- Установить конкурентоспособную стоимость аппарата.

### 4.3 Планирование научно-исследовательских работ

#### 4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для оценки затрат на проект необходимо знать перечень выполнения работ по проекту. Анализируя это составим таблицу для наглядности. В таблице 4.2 представлены все виды выполняемых работ и исполнители работы необходимой для выполнения проекта.

Таблица 4.2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, инженер
	3	Исследование патентной информации	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер

Продолжение таблицы 4.2

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технической документации и проектирование	5	Расчет мембранного фильтра	Инженер
	6	Разработка социальной ответственности по теме	Инженер, консультант СО
	7	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Инженер, консультант по ЭЧ
	8	Построение чертежей	Инженер
	9	Согласование и корректировка	Инженер
Оформление комплекта документации по ОКР	10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

### 4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (4.1)$$

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

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – 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

						Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4.2)$$

Где  $t_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.;

### 4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому на основе расчетов из предыдущего пункта проведем расчет затраченного времени на каждый этап работы по проекту.

Анализируя затраченное время на проект составим таблицу для наглядности. В таблице 8 представлены все виды выполняемых работ и время их выполнения.

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

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (4.3)$$

Где  $T_{ки}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4.4)$$

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

						Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях ( $T_{pi}$ )	Длительность работ в календарных днях ( $T_{ki}$ )	
	tmin, чел-дни	tmax, чел-дни	тожi, чел-дни				
Разработка технического задания	1	2	1	Руководитель	1	1,22	1
				Инженер			
Изучение литературы	3	5	4	Инженер	4	4,88	5
Исследование патентной информации	3	5	4	Инженер	4	4,88	5
Календарное планирование	1	2	1	Руководитель	1	1,22	1
				Инженер			
Расчет теплообменного аппарата	5	7	6	Инженер	6	7,32	7
Оценка эффективности производства	2	4	3	Инженер	3	3,66	4
Разработка социальной ответственности	2	4	3	Инженер	3	3,66	4
Составление пояснительной записки	10	12	11	Инженер	11	13,42	14
Построение чертежей	10	12	11	Инженер	11	13,42	14
Согласование и корректировка чертежей	3	5	4	Руководитель	4	4,88	5
				Инженер			

Анализируя перечень работ и оценки их выполнения, составим график проведения НИР, который представлен в таблице 4.4.

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблица 4.4 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует

выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Такие графики используются для иллюстрации графика работ по проекту и являются одним из методов планирования проектов.

Таблица 4.4 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Ткi кал.дней	Продолжительность выполнения работ													
				февраль		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Разработка тех. задания	Руководитель	1														
		Инженер															
2	Изучение литературы	Инженер	5														
3	Исследование патентной информации	Инженер	5														
4	Календарное планирование	Руководитель	1														
		Инженер															
5	Расчет теплообменного аппарата	Инженер	7														
6	Оценка эффективности производства	Инженер	4														
7	Разработка социальной ответственности	Инженер	4														
8	Составление пояснительной записки	Инженер	14														
9	Построение чертежей	Инженер	14														
10	Согласование и корректировка чертежей	Руководитель	5														
		Инженер															

#### 4.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- накладные расходы.

#### 4.3.5 Расчет материальных затрат НТИ

В данной работе под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на программное обеспечение необходимое для проведения расчетов, построения чертежей проекта, написания соответствующей документации.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблица 4.5.

Таблица 4.5 – Материальные затраты НТИ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб	Общая стоимость оборудования, тыс. руб
1	Краска для принтера	1	150	150
2	Бумага	1	250	250
Итого				400

#### 4.3.6 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы

включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.5)$$

Где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ );

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.6)$$

Где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 4.6);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4.7)$$

Где  $Z_m$  – 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;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 4.6);

Таблица 4.6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	1	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	250	273

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (4.8)$$

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

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

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 4.7 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Зок, руб.	$k_{\text{р}}$	$k_{\text{пр}}$	Зм, руб.	Здн, руб	Тр, раб.дн.	Зосн, руб.
Руководитель	33664	1.3	0.3	56892,2	2366,7	6	14200,2
Инженер	25600			43264,0	1774,9	48	85196,6
Итого							99396,8

#### 4.3.7 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Для руководителя дополнительная заработная плата будет равна:  
 $З_{\text{доп}} = 14200,2 \cdot 0,12 = 1704,0$  руб.

Для инженера дополнительная заработная плата равна:  $З_{\text{доп}} = 85196,6 \cdot 0,12 = 10223,6$  руб.

#### 4.3.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от

									Лист
									88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (4.10)$$

Где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.);

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Отчисления во внебюджетные фонды

Участник	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	14200,2	1704,0
Инженер-дипломник	85196,6	10223,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	
Итого, руб.	руководитель: 4310,0; дипломник: 25858,9	
В сумме	30168,9 руб.	

#### 4.3.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблица 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Материальные затраты НИИ	400	Таблица 4.5
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	-	-
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	99396,8	Таблица 4.7

Продолжение таблицы 4.9

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11927,6	
Отчисления во внебюджетные фонды	30168,9	Таблица 4.8
Затраты на научные и производственные командировки	-	-
Контрагентские расходы	-	-
Накладные расходы	22702,93	16 % от суммы ст. 1-7
Бюджет затрат НТИ	164596,23	Сумма ст. 1- 8

#### 4.4 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству получения товарного этилена

1) Баланс рабочего времени оборудования

Таблица 4.10 – Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени	
- выходные	0 (0)
- праздники	0(0)
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8760)
Простой оборудования в ремонтах	36 (864)
Эффективное время работы оборудования за год	328 (7872)

2) Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

Таблица 4.11 – 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
Оператор установки	Производственный рабочий	5 разр.	8	2
Дежурный слесарь по ремонту	Ремонтный персонал	4 разр.	20	2
Итого:			30	

3) Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника

Таблица 4.12 – Баланс эффективного годового времени среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2.	Нерабочие дни	104	2496
3.	Номинальный фонд рабочего времени	261	6264

Продолжение таблицы 4.12

№	Показатели	Дни	Часы
4.	Планируемые невыходы		
	Очередные и дополнительные отпуска	36	864
	Невыходы по болезни	3	72
	Декретные отпуска	-	-
	Отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	-	-
	Выполнение гос. обязанности	3	72
5.	Эффективный фонд рабочего времени	219	5256

4) Общий фонд заработной платы за год:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (4.11)$$

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:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + \text{Пр} + D_{\text{н.вр}} + D_{\text{пр.дни}} + D_{\text{бриг}} \quad (4.12)$$

Где  $Z_{\text{тар}}$  - тарифный фонд заработной платы, тыс. руб.;

Пр- оплата премий, тыс. руб.;

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

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

$D_{\text{бриг}}$  – доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.;

Тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{\text{тар}} = \sum Ч_{\text{сп}} * T_{\text{ст}} * T_{\text{эф.раб}} \quad (4.13)$$

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% тарифного фонда заработной платы.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 40%.

Дополнительная зарплата ( $Z_{\text{доп}}$ ):

$$Z_{\text{доп}} = (D_{\text{н}} * Z_{\text{осн}}) / T_{\text{эфф}} \quad (4.14)$$

Где  $D_{\text{н}}$  – 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 ( $Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$ ).

						Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4.13 – Сводная таблица заработной платы основного персонала

Наименование профессий	Списочная численность	Тарифный разряд	Тарифная ставка за день, руб.	Основной фонд заработной платы, тыс. руб.				
				Тариф. фонд	Премия	Доплата за ночное время	Доплата за работу в праздники	Итого
ИТР	2	6	3141	1375,76	137,58	550,32	412,75	2476,41
Оператор установки	8	5	1997	3498,74	349,87	1399,48	1049,61	6297,70
Ремонтный персонал	20	4	1235	5409,30	540,93	2163,72	1622,79	9736,73
Итого	30	-	-	10283,80	1028,38	4113,52	3085,14	18510,84

Продолжение таблицы 4.13

Наименование профессий	Дополнительный фонд з/п, тыс.руб.	Общий годовой фонд з/п, тыс. руб	Общий фонд з/п с учетом районного коэффициента, тыс.руб.
ИТР	247,64	2724,02	3541,23
Оператор установки	629,77	6927,47	9005,71
Ремонтный персонал	973,67	10710,40	13923,52
Итого	1851,08	20361,89	26470,46

#### 4.4.1 Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Определение затрат на сырье и вспомогательные материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен. Расчет годовой потребности в сырье и материалах приведен на 300000 т продукта в таблица 4.14.

Таблица 4.14 – Потребность в сырье и материалах

Наименование сырья	Цена за ед. сырья, т.руб.	Норма расхода сырья, ед./т.	Стоимость сырья на ед. продукта т.руб./т.	Количество сырья на весь выпуск	Стоимость сырья на весь выпуск, т. руб.
Этан-этиленовая фракция, т	5,5	1,54	8,5	462000	2550000
Пропилен, т	12,39	1,09	13,5	327000	4050000

#### 4.4.2 Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- Полную стоимость зданий
- Полную стоимость оборудования
- Нормы амортизационных отчислений

Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1. Здания			
1.1 Цех по производству	6000	5	300
1.2 Операторная	7000	5	350
2. Оборудование			
2.1 Теплообменники	4100	10	410
2.2 Осушители	1600	10	160
2.3 Колонны	3800	10	380
2.4 Емкости	600	10	60
2.5 Насосы	500	10	50
<b>Итого:</b>	<b>23600</b>		<b>1710</b>

### 4.4.3 Калькуляция себестоимости 1 тонны этилена при заданном объеме производства (300000 т/год)

Таблица 4.16 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства 300000 т/год

Статьи затрат	Единицы измерения	Затраты тыс. руб.	
		На 1 т.	На 300000 т.
<b>1. Сырье</b>			
1.1. ЭЭФ	Тыс. руб.	8,5	2550000
1.2. Пропилен	Тыс. руб.	13,5	4050000
2. Энергия на технологические нужды	Тыс. руб.	20,0	6000000
3. ЗП основных рабочих	Тыс. руб.	0,03002	9005,71
4. Отчисления на социальные нужды	Тыс. руб.	0,00901	2701,71
<b>Итого условно-переменных издержек</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>42,03903</b>	<b>12611707,42</b>
<b>3. РСЭО</b>			
3.1. Амортизация оборудования	Тыс. руб.	0,00353	1060
3.2. Ремонт оборудования	Тыс. руб.	0,00106	318
3.3. ЗП вспомогательных рабочих	Тыс. руб.	0,04641	13923,52
3.4. Отчисления на СН	Тыс. руб.	0,01392	4177,06
<b>4. Цеховые расходы</b>			
4.1. Амортизация зданий и сооружений	Тыс. руб.	0,00217	650
4.2. Ремонт и содержание зданий и сооружений	Тыс. руб.	0,00130	390
4.3. ЗП ИТР, служащих и МОП	Тыс. руб.	0,01180	3541,23
4.4. Отчисления на СН	Тыс. руб.	0,00354	1062,37
4.5. Охрана труда и ТБ	Тыс. руб.	0,00083	250
<b>Итого условно-постоянных издержек</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>0,08457</b>	<b>25372,18</b>
<b>Цеховая (производственная) себестоимость</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>42,12360</b>	<b>12637079,60</b>
5. Общезаводские расходы	Тыс. руб.	2,18653	655957,55
<b>Заводская себестоимость(цеховая себестоимость + 7)</b>	<b>Тыс. руб.</b>	<b>44,31012</b>	<b>13293037,15</b>
6. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимость)	Тыс. руб.	0,44310	132930,37

Продолжение таблицы 4.16

Статьи затрат	Единицы измерения	Затраты тыс. руб.	
		На 1 т.	На 300000 т.
Полная производственная себестоимость	Тыс. руб.	44,75322	13425967,52
<b>Условно-переменные издержки</b>	<b>Тыс. руб.</b>	42,03903	12611707,42
<b>Условно-постоянные издержки</b>	<b>Тыс. руб.</b>	0,08457	25372,18

#### 4.4.4 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:  $C = C*(1+P/100)$ , (4.15)

Где С – полная себестоимость единицы готовой продукции, т. руб.;

P – рентабельность продукции, %;

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$C = 44,75322 * 1,1 = 49,23$  т. руб./т

#### 4.5 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 (Впр) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

##### 4.5.1 Определение точки безубыточности

1. Аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_{1ГП} - Изд_{1ГП}} \quad (4.16)$$

Где  $C_{1ГП}$  – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$Изд_{пост}$  – постоянные издержки;

$Изд_{1ГП}$  – удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну);

$$Q_{кр} = \frac{25372,18}{49,23 - 42,04} = 3528,8 \text{ т.}$$

						Лист
						95
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2. Графическим способом:

$$\text{Впр} = \text{Ц}_{\text{ГП}} * Q = 49,23 * 300000 = 14769000 \text{ т. руб.} \quad (4.17)$$

Графически точка безубыточности определяется согласно рисунку 4.2.

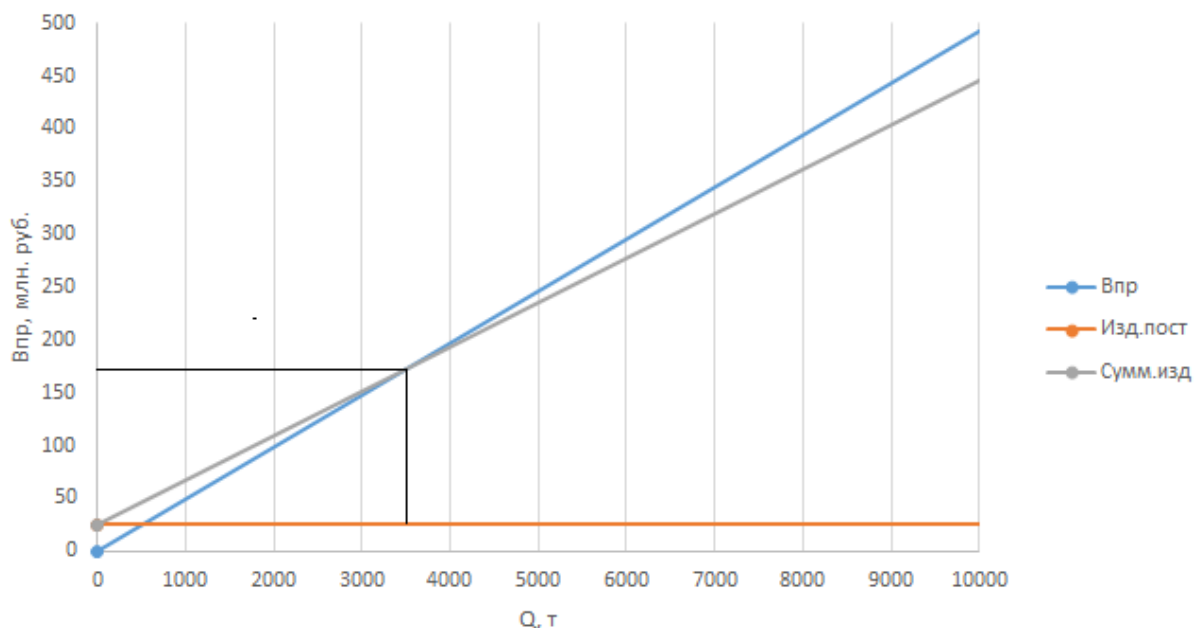


Рисунок 4.2 – График безубыточности

#### 4.6 Определение технико-экономических показателей

Таблица 4.17 – Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	т	300000
2. Объем продаж	т	300000
3. Цена 1 тонны	Тыс. руб.	49,23
4. Выручка от продажи (Впр)	Тыс. руб.	14769000
5. Суммарные издержки	Тыс. руб.	12637079,60
5.1. Издержки переменные	Тыс. руб.	12611707,42
5.2. Издержки постоянные	Тыс. руб.	25372,18
6. Операционная прибыль	Тыс. руб.	2131920,40
7. Налог на прибыль (6*20%)	Тыс. руб.	426384,08
8. Чистая прибыль (6-7)	Тыс. руб.	1705536,32
9. Себестоимость 1 тонны	Тыс. руб.	44,75
10. Стоимость основных средств	Тыс. руб.	23600
11. Численность основных рабочих	Чел.	30
12. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	13,5
13. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	11,5



Продолжение таблицы 4.17

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
14. Критический объем продаж (Qкр.)	т	3528,8
15. Критический объем продаж (Qкр.)	Тыс. руб.	173722,82

**Вывод**

Таким образом, был определен целевой рынок и проведено его сегментирование, выполнен SWOT-анализ проекта. Проведено планирование научно-исследовательских работ. Выполнен расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Рассчитана себестоимость готовой продукции и точка безубыточности производства. Определены технико-экономические показатели.

										Лист
										97
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

## 5 Социальная ответственность

В данном дипломном проекте разрабатывается установка для подогрева газообразного этилена. Такая установка называется – кожухотрубный теплообменник. Областью применения для данной установки являются нефтеперерабатывающие компании.

Одной из главных задач охраны труда является обеспечение безопасных условий труда для человека, т.е. должны быть созданы такие условия труда, при которых исключается воздействие на рабочих опасных и вредных производственных факторов. Уровни этих факторов не должны превышать предельных значений, оговоренных правовыми, техническими и санитарно-техническими нормами. Соблюдение правил и норм по безопасности жизнедеятельности позволяет улучшить и облегчить условия труда, обеспечить широкие возможности для высокопроизводительной работы.

### 5.1 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 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 [24].

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.

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).

					<i>ФЮРА.065111.001 ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Студент</i>	<i>Трубинов А.В.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Тихонов Н.В.</i>				<i>Д</i>	<i>98</i>	<i>9</i>
<i>Конс.</i>	<i>Скачкова Л.А.</i>				<i>Социальная ответственность</i>  <i>ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М.Кижнера Группа 4К51</i>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Руков. ООП</i>	<i>Беляев В.М.</i>						

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 санитарноэпидемиологический надзор за соблюдением санитарного законодательства; организует деятельность системы санитарноэпидемиологической 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.

## 5.2 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. В условиях работы, необходимо осуществление комплекса мер по предупреждению и уменьшению воздействия вредных производственных факторов. Для целостного представления обо всех

										Лист
										99
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

вредных факторах, выявленных в процессе работы, составим таблицу. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Превышение уровня шума	-	+	+	СанПиН 2.2.4.3359-16
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.3359-16
3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	-	+	+	СанПиН 2.2.4.3359-16
4. Вибрация на рабочих местах	-	+	+	СанПиН 2.2.4.3359-16

### 5.2.1 Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемого фильтра

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.

#### Шумы

Шумы могут неблагоприятно сказываться на организме человека и снижают производительность труда в среднем на 10-15%.

Шумы создаются в основном работающим оборудованием. Чаще всего технически трудно снизить шум до малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий. То есть таких, когда вредные действия шума не проявляется или проявляется незначительно.

Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в

соответствии с [25]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА. Для безопасности работающего с установкой персонала необходимо предпринять мероприятия, описанные в разделе «Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов»

### **Состояние воздушной среды и микроклимата**

Санитарные правила и нормы 2.2.4.3359-16 устанавливают определённый микроклимат для всех типов рабочих помещений.

Вредными факторами при разработке и изготовлении является не соответствие оптимальных показателей микроклимата помещений, где происходят работы. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Теплый	22-24	40-60	0,1

Используемые в установке газы этилена и пропилена относятся к 4 классу опасности, вещества малоопасные. Он нетоксичен, но взрыво- и пожароопасен, что представляет опасность для жизни. ПДК этилена и пропилена в воздухе рабочей зоны – 100 мг/м<sup>3</sup>. При превышении ПДК газы оказывают наркотическое действие, вызывают головную боль, головокружение, ослабление дыхания, удушье, нарушение кровообращения, потерю сознания. [26, 27]

### **Электробезопасность**

Электрический ток представляет собой опасность, о присутствии которой нельзя точно сказать (нет свечения, запаха, шума). В случае повреждения электроустановок, вокруг места повреждения возникает электрическое поле, опасное для жизни человека.

Особенно опасно прикосновение человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением, вследствие теплового воздействия тока. Такое прикосновение может привести к серьезным внешним поражениям кожи (ожогам).

Раны от ожогов заживают очень долго, а при поражении 2/3 поверхности тела могут привести к смертельному исходу.

Электроудар, при котором происходит прохождение тока через тело человека и поражается весь организм, представляет наибольшую опасность для человека. Возникают судороги, аритмия работы сердца и расстройство дыхания, что может привести к смерти.

Степень опасности электроудара зависит от силы тока, проходящего через организм. При силе тока равной 1,5 мА, в месте контакта с токоведущими частями ощущается зуд и нагрев. Таковую силу тока называют порогом ощущения [28].

Увеличение силы тока до 10 мА при переменном и до 50 мА при постоянном напряжении вызывает у человека сильные боли в пальцах и кистях рук, но человек еще может самостоятельно оторваться от токоведущих частей. Такая сила тока называется условно безопасной.

Дальнейшее увеличение от 10 мА до 100 мА при переменном и от 50 мА до 100 мА при постоянном напряжении вызывает очень сильные боли, парализацию рук, паралич дыхания и самостоятельно оторваться от токоведущих частей уже невозможно.

При снижении сопротивления человеческого тела, сила тока постоянно возрастает и при достижении 100 мА наступает клиническая смерть [28].

Проблемы замыкания электрической цепи через тело человека могут возникнуть на этапах изготовления и эксплуатации проектируемой установки, таким образом, для этих процессов одинаковые опасные факторы и мероприятия по их устранению. Что бы избежать вредного воздействия на людей электрического тока, необходимо разработать электробезопасность конструкций.

### **Вибрация**

Через кожухотрубный теплообменник проходят потоки газа, при этом постоянно ударяясь о стенки и перегородки аппарата, меняя свое направление, вследствие чего и возникает вибрация.

Длительное воздействие производственной вибрации на человека вызывает ряд функциональных и физиологических последствий, наиболее опасные из которых могут привести к нарушениям в сердечно сосудистой системе, в опорно-двигательном аппарате, а также развитию нервных заболеваний.

Ограничение времени воздействия вибрации должно осуществляться путем установления для лиц виброопасных профессий внутрисменного режима труда, реализуемого в технологическом процессе [37].

Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора не менее 1дБ (в 1.12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза) [37].

При проектировании и строительстве зданий и промышленных объектов, других элементов производственной среды, а также разработке технологических процессов должны быть использованы методы, снижающие вибрацию на путях ее распространения от источника возбуждения, по [37].

									Лист
									102
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

## **Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов**

Для снижения вредного воздействия от шума необходимо предпринять следующие мероприятия:

- Устранение причин шума или их ослабление в источнике образования;
- Изоляция источников шума средствами звукоизоляции, звукопоглощения;
- Жесткое крепление вибрирующих деталей и узлов;
- Противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- Профилактические медицинские мероприятия.

Для обеспечения химической безопасности при работе на установке предусматриваются следующие организационные и технические мероприятия:

- герметичность технологического оборудования и коммуникаций;
- система блокировок и отключение оборудования при отклонении от заданных технологических параметров;
- контроль содержания вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений;
- обеспечение обслуживающего персонала спецодеждой и средствами индивидуальной защиты при выполнении работ.

Основные способы и средства электрозащиты:

- Все работы, связанные с ремонтом электрической части оборудования, производить только электротехническому персоналу цеха;
- Все аппараты должны быть ограждены защитными перегородками;
- Корпуса электродвигателей и другого оборудования должны быть заземлены;
- Использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- Предупредительная сигнализация и блокировки;
- Обеспечение обслуживающего персонала спецодеждой и средствами индивидуальной электрозащиты.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Работа с данным теплообменником не оказывает негативного влияния на атмосферу, так как в процессе эксплуатации аппарата не выделяются газообразные продукты (выбросы). В процессе эксплуатации аппарата не происходит воздействия на гидросферу, так как в процессе теплообмена в качестве теплоносителей используются газы, участвующие в дальнейшем производстве. В результате эксплуатации не появляются

									<i>Лист</i>
									103
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>					

отходы, а значит, нет воздействия на литосферу. Исходя из этого можно сделать вывод, что негативного воздействия на окружающую среду аппарат не оказывает.

## 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации (ЧС) - это совокупность обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями, жертвами людей и причинению ущерба окружающей среде.

К чрезвычайным ситуациям можно отнести: производственные аварии, стихийные бедствия, военные и социально-политические конфликты [29].

При условиях ЧС необходимо знать правила поведения, чтобы избежать паники и несчастных случаев.

При возникновении аварии необходимо отключить все электроприборы и рубильники.

Стихийные бедствия, такие как ураганы, наводнения и землетрясения, предотвратить нельзя, поэтому необходимо отключить электричество в здании и покинуть его или спуститься в подвальное помещение, если таковое имеется.

При возникновении военного или социально-политического конфликта необходимо эвакуировать всех людей из здания, согласно плану эвакуации или спуститься в подвальное помещение.

Самое главное - при любой чрезвычайной ситуации сохранять спокойствие, не поддаваться панике и отключить всю электроэнергию. Иначе, это может привести к еще большим разрушениям [29].

### Пожарная безопасность

Пожарная безопасность объекта обеспечивается рядом противопожарных мероприятий, предусмотренных в соответствии с [30].

Работники, обслуживающие установку, обязаны пройти противопожарный инструктаж и занятия по пожарно-техническому минимуму.

При работе на производстве безопасность работающего персонала должна обеспечиваться:

- конструктивно-планировочным решением помещений, гарантирующим возможность осуществления быстрой эвакуации людей и ограничивающим распространение пожара;

									Лист
									104
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



- постоянным содержанием в надлежащем состоянии специального оборудования, способствующего успешной эвакуации людей в случае пожара (системы экстренного оповещения, аварийное освещение, знаки безопасности);

- ознакомлением всех работающих с основными требованиями пожарной безопасности и мерами личной предосторожности, которые необходимо соблюдать при возникновении пожара, а также планом эвакуации людей из помещения;

- установлением со стороны администрации систематического контроля за строжайшим соблюдением мер предосторожности при ремонтных работах, эксплуатации электроприборов, электроустановок и отопительных систем.

Для локализации и ликвидации пожара должны использоваться стационарные средства пожаротушения.

В цехе размещены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны, кроме того размещен схематичный план эвакуации людей при пожаре, дополнительно разработана инструкция, определяющая действия персонала в случае возникновения очага возгорания.

Размещение оборудования противопожарного водоснабжения и пожаротушения на площадке цеха выполнено согласно требованиям [30].

На объекте предусмотрено применение оборудования пенного и порошкового пожаротушения, а также первичных средств пожаротушения.

### **Первичные средства пожаротушения, немеханизированный пожарный инструмент и инвентарь**

К первичным средствам пожаротушения относятся:

- огнетушители, песок (в ящике);  
- асбестовое полотно, грубошерстная ткань или войлок (кошма, покрывало из негорючего материала).

К немеханизированному пожарному инструменту и инвентарю относятся:

- комплект для резки электропроводов (ножницы, диэлектрические боты);  
- лом, багор, крюк с деревянной ручкой, ведро, лопаты.

Определение необходимого количества первичных средств пожаротушения для защиты зданий и сооружений выполнено по Приложению 6 [31].

### **Вывод**

Таким образом, были обеспечены безопасные условия труда, при которых исключено воздействие имеющихся вредных и опасных факторов, и представлено обоснование мероприятий по минимизации воздействия на рабочих этих факторов. Был

										Лист
										105
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

проведен анализ экологической опасности на окружающую среду, и рассмотрены наиболее вероятные виды ЧС и способы их локализации и ликвидации.

						Лист
						106
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## Заключение

В данной квалификационной работе был рассчитан теплообменник для подогрева газообразного этилена установки деэтанзации этан-этиленовой фракции. Были произведены основные технологические, конструктивные и механические расчеты исследуемого аппарата. Определены различные параметры отдельных элементов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию и надежность. По полученным данным был принят стандартный теплообменник типа 600ТНВ-2.5-М25-Н/25Г-4-1-У, который является эффективной заменой действующему на производстве товарного этилена в настоящее время.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был проведен SWOT-анализ проекта, рассчитана себестоимость готовой продукции и точка безубыточности производства. Определены технико-экономические показатели.

В разделе «Социальная ответственность» были обеспечены безопасные условия труда, при которых исключено воздействие имеющихся вредных и опасных факторов, и представлено обоснование мероприятий по минимизации воздействия на рабочих этих факторов. Был проведен анализ экологической опасности на окружающую среду, и рассмотрены наиболее вероятные виды ЧС и способы их локализации и ликвидации.

					<i>ФЮРА.065111.001 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Студент</i>	<i>Трубинов А.В.</i>				<i>Заключение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Тихонов Н.В.</i>					<i>Д</i>	<i>107</i>	<i>1</i>
<i>Конс.</i>						<i>ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М.Кижнера Группа 4К51</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Руков. ООП</i>	<i>Беляев В.М.</i>							

## Список литературы:

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов под ред. чл-корр. АН СССР П.Г.Романкова. -10-е изд., перераб, и доп./ Репринтное воспроизведение издания 1987 г. - М.: Альянс, 2013. - 576 с.
2. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. 3-е изд., стереотипное. - М.: ООО ИД "Альянс", 2008. -752 с.
3. ГОСТ Р 34233.1-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. - М.: Стандартиформ, 2018. -30 с.
4. ГОСТ 31842-2012 (ИСО 16812:2007) Нефтяная и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования. - М.: Стандартиформ, 2013.
5. 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. -54 с.
6. 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. -41 с.
7. АТК 24.218.06-90. Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования. - М.: Минтяжмаш СССР, 1990. - 46 с.
8. ГОСТ 28759.3-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварные встык. - М.: Стандартиформ, 2005.
9. М. Ф. Михалева. "Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств". Примеры и задачи. – Л.: «Машиностроение», 1984. - 303 с.
10. ГОСТ Р 34233.7-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты. - М.: Стандартиформ, 2018. -54 с.
11. В.М.Беляев, В.М.Миронов "Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли. Ч.1 Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств". - Томск: Изд - во Томский политехнический университет. - 2011. - 300 с.

					<i>ФЮРА.065111.001 ПЗ</i>				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>					
<i>Студент</i>		<i>Трубинов А.В.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>	
<i>Руковод.</i>		<i>Тихонов Н.В.</i>			<i>Д</i>		108	3	
<i>Конс.</i>					<i>Список литературы</i>				
<i>Н. Контр.</i>				<i>ТПУ ИШНПТ</i> <i>НОЦ Н.М.Кижнера</i> <i>Группа 4К51</i>					
<i>Руков. ООП</i>		<i>Беляев В.М.</i>							

12. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Учеб. Пособие. Часть 1/Том.политехн. ун-т. Томск: 2003. -118 с.

13. ГОСТ 34233.5-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. - М.: Стандартиформ, 2018.

14. ОСТ 26-2006-83 Люки с фланцами, приварными встык, с уплотнительной поверхностью "шип-паз" стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция (с Изменениями N 1-5). - М.: ОАО "ВНИИнефтемаш", 2004.

15. АТК 24.200.03-90 Опоры-стойки вертикальных аппаратов. Типы, конструкция и размеры. - М.: ПАО "УкрНИИхиммаш", 1991.

16. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. – М.: Издательство стандартов, 1985.

17. РД РТМ 26-01-141-82. Камеры, греющие выпарных аппаратов с трубными решетками, имеющими отбортованные кромки отверстий. Расчет на прочность. М.: НИИхиммаш, 83. -21 с.

18. ГОСТ Р 34233.6-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках. - М.: Стандартиформ, 2018. -19 с.

19. ГОСТ Р 55601-2013. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках. Общие технические требования. М.: Стандартиформ, 2014. -50 с.

20. ГОСТ 19903-2015. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. -М.: Стандартиформ, 2016. -20 с.

21. ГОСТ 15180-86. Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры. М.: Издательство стандартов, 1993. -12 с.

22. ГОСТ Р 34233.4-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. - М.: Стандартиформ, 2018. -42 с.

23. СТО 00220368-011-2007. Сварка разнородных соединений сосудов, аппаратов и трубопроводов из углеродистых, низколегированных, теплоустойчивых, высоколегированных сталей и сплавов на железоникелевой и никелевой основах. – Волгоград.: ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры", 2007. -70с.

24. Бобков А.С. Охрана труда и экологическая безопасность в химической промышленности. /А.С.Бобков, А.А.Блинов, И.А.Роздин., Е.И.Хабарова. –М.:Химия, 1998. –400с.

									Лист
									109
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

25. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. - М.: Стандартинформ, 2015. -27 с.
26. ГОСТ 25070-2013 Этилен. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2016. - 8с.
27. ГОСТ 25043-2013 Пропилен. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2016. -11с.
28. Инструкция по охране труда по электробезопасности.
29. Российская Федерация. Законы. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ.
30. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ.
31. СП 9.13130.2009 Техника пожарная. ОГнетушители. Требования к эксплуатации. - М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 25с.
32. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования. - М.: Стандартинформ, 2010. -21с.
33. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
34. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
35. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
36. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
37. ГОСТ 26568-85. Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация (с Изменением N 1). - М.: Издательство стандартов, 1987.

						Лист
						110
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание	
				<u>Документация</u>			
A4			ФЮРА.065111.001 ПЗ	Расчетно-пояснительная записка	112		
A1			ФЮРА.065111.002 ВО	Теплообменный аппарат	1		
A1			ФЮРА.065111.003 ВО	Теплообменный аппарат	1		
A2			ФЮРА.065111.004 СТ	Технологическая схема	1		
A2			ФЮРА.065111.005 ТЭП	Технико-экономические показатели	1		
				<u>Сборочные единицы</u>			
		1		Опоры	2	09Г2С	
				<u>Детали</u>			
		2		Обечайка	1	09Г2С	
		3		Трубная решетка	2	12Х18Н10Т	
		4		Отбойник	1	09Г2С	
		5		Штифт	8	09Г2С	
		6		Перегородка	10	09Г2С	
		7		Прокладка	2	Паронит	
				<u>Стандартные изделия</u>			
		001		Днище 600-6-25-150 ГОСТ 6533-78	2	12Х18Н10Т	
				Штуцеры по АТК 24.218.06-90			
		002		Штуцер 300-2,5-1-5-200	2	09Г2С	
		003		Штуцер 350-2,5-1-5-230	2	12Х18Н10Т	
		004		Фланец 4-600-2,5 ГОСТ 28759.3-90	2	12Х18Н10Т	
		005		Труба 25x2 мм ГОСТ 10704-91	257	12Х18Н10Т	
				<b>ФЮРА.065111.001 ПЗ</b>			
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата			
Разраб.		Трубинов А.В.					
Пров.		Тихонов Н.В.					
Н.Контр							
УТВ.							
<b>Спецификация</b>					Лит	Лист	Листов
					Д	111	2
					<b>ТПУ ИШНПТ</b> Группа 4К51		

<i>Формат</i>	<i>Зона</i>	<i>Поз.</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол-во</i>	<i>Примечание</i>
		006		<i>Шпилька M20x1,5-6gx140</i>	64	40X
		007		<i>Гайка M20x1,5-6H</i>	128	40X
		008		<i>Гайка M10-6H</i>	8	09Г2С
		009		<i>Шайба 20 ГОСТ 6402-70</i>	128	40X
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подп</i>	<i>Дата</i>		<i>Лист</i> 112