

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
Отделение школы (НОЦ) НОЦ Кижнера Н.М.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект ректификационной установки разделения пропилен-пропановой смеси

УДК 665.725.3.048.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Тогузбаева Динара Сериковна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять базовые математические и специальные, 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 современных химических технологий 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	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК-5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды	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 современных химических технологий	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом 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)
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	Активно ладеть 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 лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации	Требования ФГОС (ОК-4,6,8) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
Направление подготовки **18.03.01 Химическая технология**
Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера**
Профиль **Машины и аппараты химических производств**

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

 08.05.20 **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
4ГББ	Тогузбаевой Динаре Сериковной

Тема работы:

Проект ректификационной установки разделения пропилен-пропановой смеси	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	27.02.2020, № 58-47/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<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>	Расчет ректификационной колонны непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения пропилен-пропановой смеси производительностью 21874 кг/ч. Содержание легколетучего компонента в массовых %: в исходной смеси- 64 %; в кубовом остатке -5%; в дистилляте 95%.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><i>Реферат; Введение; 1 Литературный обзор; 2 Технологический расчёт; 3 Механический расчёт; 4 Результаты разработки; 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 6 Социальная ответственность; Заключение; Список использованных источников.</i></p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><i>Лист 1- Технологическая схема (A1); Лист 2-Чертеж общего вида ректификационной колонны (A0); Лист 3-Экономические показатели (A2)</i></p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кашук Ирина Вадимовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина Мария Сергеевна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p><i>Реферат</i></p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>17.04.2020</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ Н.М. Кижнера</p>	<p>Беляев Василий Михайлович</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		<p>08.05.2020</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4Г6Б</p>	<p>Тогузбаева Динара Сериковна</p>		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Г6Б	Тогузбаева Динара Сериковна

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. <i>Оценка конкурентоспособности ИП</i>	
2. <i>Матрица SWOT</i>	
3. <i>Диаграмма Ганта</i>	
4. <i>Бюджет НИ</i>	
5. <i>Основные показатели эффективности НИ</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кацук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		10.02.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Тогузбаева Динара Сериковна		10.02.20

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Г6Б	Тогузбаева Динара Сериковна

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Н.М Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Проект ректификационной установки разделения пропилен-пропановой смеси	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является ректификационная установка разделения пропилен-пропановой фракции. Область применения - Химическая промышленность</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – 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"> - Федеральный закон «О специальной оценке условий труда»; - Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»; - Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»; Федеральный закон «Об основах охраны труда в РФ» - Трудовой кодекс РФ.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточная освещенность. 2. Превышение шума. 3. Микроклимат рабочей зоны. 4. Опасность поражения электрическим током. 5. Повышенный уровень вибрации 6. Пожароопасность.
3. Экологическая безопасность:	<i>Проектируемый колонный аппарат не оказывает негативного воздействия на гидросферу, при введении в эксплуатацию фильтровального оборудования для кубового остатка, также не оказывает влияния на литосферу и атмосферу ввиду производственных особенностей.</i>

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>4 В качестве возможных чрезвычайных ситуаций для производства определены: пожар, взрыв, химическая авария. В качестве наиболее типичной ЧС выбран пожаровзрывоопасность..</i>
--	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Тогузбаева Динара Сериковна		

РЕФЕРАТ

В дипломной работе рассчитана ректификационная колонна разделения бинарной смеси пропилен-пропан с ситчатыми тарелками. Сделаны расчеты основных технологических и конструктивных показателей аппарата, сделан механический расчет аппарата.

Получен анализ и расчет технико-экономических показателей данного производства. Выявлены вредные, а так же опасные производственные факторы, представлены способы снижения отрицательного воздействия на организм человека.

На основании расчета построены чертежи общего вида аппарата, сборочные единицы ректификационной колонны.

Дипломный проект содержит расчетно-пояснительную записку из 176 страниц текста, 18 таблиц, 13 рисунков, 64 литературных источника и графическую часть из 3 листов формата А0, А1 и А3.

Ключевые слова: ректификация, колонна, ситчатая тарелка, пропилен-пропановая фракция.

Abstract

In the thesis, a distillation column for the separation of a binary mixture of propylene-propane with sieve plates was calculated. Calculations of the main technological and structural indicators of the apparatus are made, a mechanical calculation of the apparatus is made.

The analysis and calculation of technical and economic indicators of this production. Harmful as well as hazardous production factors have been identified, ways to reduce the negative impact on the human body are presented.

Based on the calculation, drawings of the general view of the apparatus, assembly units of the distillation column were built.

The graduation project contains a settlement and explanatory note of 176 pages of text, 18 tables, 13 figures, 64 literature and a graphic part of 3 sheets of format A0, A1 and A3.

Key words: rectification, column, sieve plate, propylene-propane fraction.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	13
1. Литературный обзор.....	15
2 Технологический расчёт;	16
2.1 Технологическая схема	16
2.2 Материальный баланс колонны и рабочее флегмовое число	18
2.3 Определение высоты колонны	35
2.3.1. Расчет высоты светлого слоя жидкости на тарелке и паросодержания барботажного слоя.....	35
2.3.2.Определение коэффициентов массопередачи и высоты колонны ...	37
2.3.3 Расчет гидравлического сопротивления тарелок колонны	43
3. Механический расчет	46
3.1.Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, днища и крышки ...	46
3.1.1.Выбор материала ректификационной колонны	46
3.1.2 Определение расчетных параметров и толщин стенок ректификационной колонны	47
3.1.3 Расчет толщины стенок цилиндрической части аппарата	49
3.1.4 Расчет цилиндрической обечайки на устойчивость	53
3.2. Расчет толщины стенки эллиптической крышки и днища	58
3.3 Расчет штуцеров	60
3.4 Расчет укрепления отверстий (таблица штуцеров, рис.)	63
3.4.1.Расчет укрепления отверстий цилиндрической обечайки	63
3.4.2 Укрепление отверстия под штуцер подачи флегмы	65
3.4.3 Расчет укрепление отверстия под люк-лаз.....	70
3.4.4 Расчет укрепление отверстия под штуцер подачи паров кубовой смеси	75

3.4.5 Расчет укрепление отверстий в эллиптических днище и крышке	80
3.4.6 Расчет укрепление отверстия под штуцер отвода паров дистиллята	82
3.5 Расчет фланцев	84
3.6 Расчет тарелок на прогиб	112
3.7 Поверочный расчет колонны по ГОСТ 34233.9-2017	115
4 Результаты разработки.....	135
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	138
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	138
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	138
нефтегазовая, химическая, пищевая промышленности и т.д.....	138
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений	139_Тос43405345
5.1.3 SWOT – анализ	141
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	144
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	144
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования	145
5.3 Бюджет научно-технического исследования	150
5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ	151
5.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	151
5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	153
5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	155
5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	155
5.3.6 Накладные расходы	156

5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	156
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	157
6 Социальная ответственность	162
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	162
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны..	163
6.2 Производственная безопасность	165
6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	166
6.2.2.1 Электробезопасность.....	166
6.2.2.2 Повышенные шум и вибрация	167
6.2.2.3 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	168
6.2.2.4 Противопожарные мероприятия	170
6.3 Экологическая безопасность	170
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	171
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	175
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	176

ВВЕДЕНИЕ

Ректификация – относится к массообменным процессам, при нем происходит разделение многокомпонентной смеси на части, где компоненты их различаются по температурам кипения. Процесс выполняется при соприкосновении потоков пара и жидкости, которые содержат разнообразные составы и температуры: пар содержит достаточно высокую температуру, чем входящая с ним в контакт жидкость. В итоге такого взаимодействия при обильно большом времени контакта пар и жидкость могут прийти к состоянию равновесия, т.е. температуры потоков станут похожими, в то же время их составы будут связаны уравнениями равновесия. Эта схема взаимодействия потоков распространена как «теоретическая тарелка» или «теоретическая ступень контакта». В конкретных обстановках равновесие уходящих из контактной зоны потоков пара и жидкости может не получаться, вследствие этого потоки будут содержать различную температуру, а их составы сформируются не только уравнениями равновесия, но и весьма сложными зависимостями.

Процесс ректификации может выполняться по периодической и непрерывной схемам. При периодической ректификации смесь разбивают на отдельные составы (или части, которые закипают в определенном промежутке температур) через последовательный их выбор при искажающихся во времени рабочих условий процесса. Ректификация по непрерывной схеме позволяет тотчас приобретать два и более продуктов при стационарных условиях процесса. Процесс разделения потока паров в нижнюю часть колонны подводят тепло, а поток жидкости (орошения, флегмы) собирают путем отвода тепла из верхней части колонны, конденсируя подходящее количество паров.

Часть колонны, служащая для выделения низкокипящих компонентов (НК), именуется концентрационной, или укрепляющей, другая часть, в которой выделяются высококипящие компоненты (ВК), именуется исчерпывающей,

Однозначно можно отметить, что ректификация получило высокое место

в химической технологии. Фактически всякий нефтеперерабатывающий завод оборудован по крайней мере одной такой установкой, без массообменных аппаратов в нефтегазовой промышленности никак иначе не обойтись.

В представленной работе разобрана ректификационная колонна, посвященная для разделения смеси пропилен-пропан.. После разделения очищенные продукты находят промышленное использование, например, пропилен – главное сырье для нефтехимической промышленности. Главный продукт, получаемый из пропилена – полипропилен. Полипропилен выходит в результате полимеризации пропилена в присутствии металлоорганических катализаторов при низком и среднем давлениях. Пропилен используется для получения масел, присадок, моющих средств, растворителей. Пропан используется в качестве топлива для автомобилей. За счет хорошего горения этот газ используют как в быту, так и в промышленности. В быту пропан используют в качестве топлива для газовых плит, водных колонок, обогрева помещений (комнат, цехов, теплиц, ферм). В промышленности пропан используют при резке металлов, сварки различных конструкций и в заготовительном производстве.

Есть множество конструкций массообменных колонных аппаратов, но основываясь на результаты анализа, можно считать, что тарельчатые ректификационные колонны содержат большой потенциал в химической промышленности, потому что в наибольшей степени отвечают требованиям, которые представляются к ректификационным колоннам, дают создать особенно энергосберегающую схему производства, имеет превосходство в процессах с появлением нежелательных побочных продуктов.

В данное время ведутся активные изучения контактных устройств тарельчатых ректификационных колонн.

1. Литературный обзор

Однозначно можно отметить, что ректификация получило высокое место в химической технологии. Фактически каждый нефтеперерабатывающий завод оборудован по крайней мере одной такой установкой, без массообменных аппаратов в нефтегазовой промышленности никак иначе не обойтись [1].

В представленной работе разобрана ректификационная колонна, посвященная для разделения смеси пропилен-пропан.. После разделения очищенные продукты находят промышленное использование, например, пропилен – главное сырье для нефтехимической промышленности. Главный продукт, получаемый из пропилена – полипропилен. Полипропилен выходит в результате полимеризации пропилена в присутствии металлоорганических катализаторов при низком и среднем давлениях. Пропилен используется для получения масел, присадок, моющих средств, растворителей. Пропан используется в качестве топлива для автомобилей. За счет хорошего горения этот газ используют как в быту, так и в промышленности. В быту пропан используют в качестве топлива для газовых плит, водных колонок, обогрева помещений (комнат, цехов, теплиц, ферм). В промышленности пропан используют при резке металлов, сварки различных конструкций и в заготовительном производстве. Есть множество конструкций массообменных колонных аппаратов, но основываясь на результаты анализа, можно считать, что тарельчатые ректификационные колонны содержат большой потенциал в химической промышленности, потому что в наибольшей степени отвечают требованиям, которые представляются к ректификационным колоннам, дают создать особенно энергосберегающую схему производства, имеет превосходство в процессах с появлением нежелательных побочных продуктов.

В данное время ведутся активные изучения контактных устройств тарельчатых ректификационных колонн.

Подп. и дата					
	Взам. инв. №				
Подп. и дата					
	Инв. № дубл.				
Подп. и дата					
	Инв. № подл.				
ФЮРА.066212.001 ПЗ					
	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
Инв. № подл.	Студент.	Тогузбаева Д.			
	Руковод.	Беляев В.М.			
	Конс.				
	Н. контр.				
	Рук.ООП	Беляев В.М.			
Обзор литературы					
		Лит	Лист	Листов	
		Д	15	1	
НИ ТПУ ИШНПТ группа 4Г6Б					

2 Технологический расчёт;

2.1 Технологическая схема

Технологическая схема ректификации пропилен-пропановой смеси на рисунке 1:

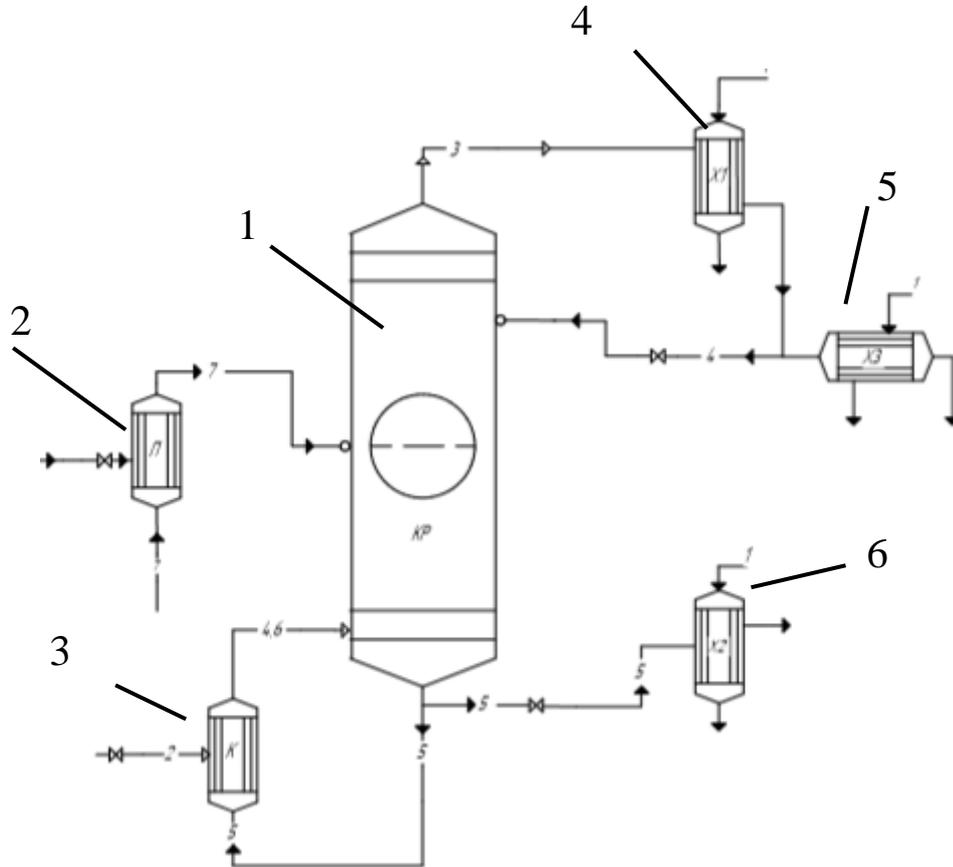


Рисунок 1- Технологическая схема разделения пропилен-пропановой фракции [1]

1-ректификационная колонна с ситчатыми тарелками; 2- теплообменник-подогреватель; 3- кипятильник; 4- дефлегматор; 5- холодильник дистиллята

Исходная смесь поступает из промежуточной емкости центробежным насосом в теплообменник 2 , где подогревается до температуры кипения. Нагретая смесь поступает на разделение в ректификационную колонну 1 на

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
Студент.		Тогузбаева Д.		
Руковод.		Беляев В.М.		
Конс.				
Н. контр.				
Рук.ООП		Беляев В.М.		

Технологическая схема

Лит	Лист	Листов
Д	16	29
НИ ТПУ ИШНПТ группа 4Г6Б		

тарелку питания, где состав жидкости равен составу исходной смеси X_F . Стекая вниз по колонне, жидкость взаимодействует с поднимающимся вверх паром, образующимся при кипении кубовой жидкости в кипяильнике 3. Начальный состав пара примерно равен составу кубового остатка X_W , т. е. обеднен легколетучим компонентом. В результате массообмена с жидкостью пар обогащается низкокипящим компонентом. Для более полного обогащения верхнюю часть колонны орошают в соответствии с заданным флегмовым числом жидкостью (флегмой) состава X_P , получаемой в дефлегматоре 4 путем конденсации пара, выходящего из колонны. Часть конденсата выводится из дефлегматора в виде готового продукта разделения – дистиллята, который охлаждается в теплообменнике 5 и направляется в промежуточную емкость, кубовый остаток охлаждается в холодильнике 6 и поступает в емкость.

Инв. № подл.	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №				Подп. и дата
	Подп. и дата					Взам. инв. №				
ФЮРА.066212.001 ПЗ										
Технологическая схема										
Инв. № подл.	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	Лит	Лист	Листов		
	Студент.		Тогузбаева Д.			Д	17	29		
	Руковод.		Беляев В.М.							
	Конс.									
	Н. контр.									
	Рук.ООП		Беляев В.М.							
НИ ТПУ ИШНПТ группа 4Г6Б										

2.2 Материальный баланс колонны и рабочее флегмовое число

В данном разделе будет произведен расчет материального баланса ректификационной колонны для разделения пропилен-пропановой смеси, работающей под избыточным давлением, с заданными параметрами :
Производительность колонны по питанию $G_F=6,076$ кг/с;

Массовая доля низкокипящего компонента (н.к.) в питании $\bar{x}_F = 0,64$;

Массовая доля низкокипящего компонента в дистилляте $\bar{x}_D = 0,95$;

Массовая доля низкокипящего компонента в кубовом остатке $\bar{x}_W = 0,05$;

Рабочее давление 2 МПа

Будут построены фазовые диаграммы процессов, определено рабочее флегмовое число установки, а также расходы жидкости в верхней и нижней частях колонны.

Ввиду отсутствия табличных данных для данного давления бинарной смеси пропилен-пропан строим равновесную кривую с учетом давления в колонне с помощью уравнений Антуана.

Для этого сделаем пересчет давление P

$$P_1 := P \cdot \frac{10^6}{133.3} = 1.5 \times 10^4 \text{ мм. рт. ст.}$$

Для пропана коэффициенты уравнения Антуана $\text{AntA}_B=15,7260$;
 $\text{AntB}_B=1872,46$; $\text{AntC}_B=-25,16$ [1].

$$\ln(P_1) = \text{AntA}_B - \frac{\text{AntB}_B}{(t_{\text{Ant}} + 273) + \text{AntC}_B}$$

$$\text{Find}(t_{\text{Ant}}) \rightarrow 58.62104943754109882$$

$$t_{\text{KB}} := 59^\circ\text{C}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Для пропана коэффициенты уравнения Антуана для пропилена $AntA_a=15,7027$; $AntB_a=1872,46$; $AntC_a=-25,16$ [1].

$$\ln(P_1) = AntA_a - \frac{AntB_a}{(tAnt + 273) + Anta_y}$$

$$Find(tAnt) \rightarrow 23.966580415115306287 - 1.0 \cdot Anta_y$$

$$t_{ка} := 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Где $t_{ка}$ и $t_{кв}$ - температуры кипения пропилена и пропана соответственно, С.

Так как температура кипения пропилена при данном давлении ниже температуры кипения пропана, низкокипящим компонентом является пропилен. Пересчитаем состав фаз из массовых долей в мольные.

Пересчет осуществляется по формуле [2, с.229]:

$$x = \frac{\frac{\bar{x}}{M_a}}{\frac{\bar{x}}{M_a} + \frac{1 - \bar{x}}{M_b}} \quad (1.1)$$

где, M_a и M_b - молярные массы низкокипящего и высококипящего компонентов соответственно, г/моль; x и \bar{x} - соответственно мольная и массовая доля низкокипящего компонента в исходной смеси, в кубовом остатке или дистилляте.

Для последующих расчетов необходимо перевести массовые доли в мольные.

Низкокипящий компонент - пропилен, имеет молярную массу $M_a = 42$ г/моль, высококипящий компонент - пропан, имеет молярную массу $M_b = 44$ г/моль.

Исходной смеси, кмоль/кмоль смеси:

$$x_F = \frac{\frac{\bar{x}_F}{M_a}}{\frac{\bar{x}_F}{M_a} + \frac{1 - \bar{x}_F}{M_b}} = \frac{0,64/42}{0,64/42 + \frac{1 - 0,64}{44}} = 0,651 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Ине. № подл	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Дистиллят, кмоль/кмоль смеси:

$$x_D = \frac{\frac{\bar{x}_D}{M_a}}{\frac{\bar{x}_D}{M_a} + \frac{1 - \bar{x}_D}{M_b}} = \frac{0,95/42}{0,995/42 + \frac{1 - 0,995}{44}} = 0,952 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Кубовый остаток, кмоль/кмоль смеси:

$$x_W = \frac{\frac{\bar{x}_W}{M_a}}{\frac{\bar{x}_W}{M_a} + \frac{1 - \bar{x}_W}{M_b}} = \frac{0,05/42}{0,05/42 + \frac{1 - 0,05}{44}} = 0,052 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Где, x_F, x_D, x_W - мольная доля низкокипящего компонента исходной смеси, дистилляте и кубовом остатке.

Молекулярные массы смесей находим по уравнению:

$$M_F = x_F \cdot M_{\text{нк}} + (1 - x_F) \cdot M_{\text{вк}}$$

Для исходной смеси:

$$M_F = x_F \cdot M_a + (1 - x_F) \cdot M_b = 0,651 \cdot 42 + (1 - 0,651) \cdot 44 = 42,699 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}};$$

Для дистиллята :

$$M_D = x_D \cdot M_a + (1 - x_D) \cdot M_b = 0,952 \cdot 42 + (1 - 0,952) \cdot 44 = 42,096 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}};$$

Для кубового остатка:

$$M_W = x_W \cdot M_a + (1 - x_W) \cdot M_b = 0,052 \cdot 42 + (1 - 0,052) \cdot 44 = 43,895 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}};$$

Для нахождения массовых расходов дистиллята и кубового остатка решим систему линейных уравнений:

$$G_F = G_D + G_W$$

$$x_F \cdot G_F = x_D \cdot G_D + x_W \cdot G_W$$

где, G_F, G_D, G_W - массовые расходы исходной смеси, дистиллята и кубового остатка, кг/с.

Име. № подл.	Подп. и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212.001 ПЗ

$$\begin{pmatrix} G_W \\ G_D \end{pmatrix} := \text{Find}(G_D, G_W) \rightarrow \begin{pmatrix} 4.0402894302959770733 \\ 2.0358216808151344267 \end{pmatrix}$$

Получены расходы дистиллята $G_D=2,036$ кг/с и кубовой остатка $G_W=4,04$ кг/с.

Рассчитаем мольные расходы

Для дистиллята:

$$G_{D1} = \frac{G_D}{M_D} = \frac{2,036}{42,096} = 0,048 \frac{\text{кмоль}}{\text{с}}$$

Для кубового остатка :

$$G_{W1} = \frac{G_W}{M_W} = \frac{4,04}{43,895} = 0,092 \frac{\text{кмоль}}{\text{с}}$$

Рассчитываем диапазон изменения концентрации н.к. в жидкости при диапазоне изменения температуры в колонне по формуле аддитивности по программе:

$$t(x) := 10^{x \cdot \log(t_{ка}) + (1-x) \cdot \log(t_{кв})}$$

$$P_a(x) := e^{-\left[\frac{\text{Ant}A_a - \frac{\text{Ant}B_a}{(t(x)+273) + \text{Ant}C_a}}{\text{Ant}A_a - \frac{\text{Ant}B_a}{(t(x)+273) + \text{Ant}C_a}} \right]}$$

$$P_B(x) := e^{-\left[\frac{\text{Ant}A_B - \frac{\text{Ant}B_B}{(t(x)+273) + \text{Ant}C_B}}{\text{Ant}A_B - \frac{\text{Ant}B_B}{(t(x)+273) + \text{Ant}C_B}} \right]}$$

$$y := \begin{cases} \text{for } i \in 0..10 \\ y_i \leftarrow 100 \cdot \text{Ураб} \left(\frac{x_i}{100} \right) \\ \text{return } y \end{cases}$$

По найденным данным строим фазовые диаграммы для расчета необходимого числа тарелок.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Таблица 1. Равновесные составы паровой и жидкой фаз пропан-пропиленовой смеси

Пропилен-пропановая смесь			
C ₃ H ₆ %		Мольная доля C ₃ H ₆	
в жидкости	в паре	в жидкости	в паре
10	11,06	0,10	0,1106
20	21,74	0,20	0,2174
30	32,12	0,30	0,3212
40	42,28	0,40	0,4228
50	52,23	0,50	0,5223
60	66,02	0,60	0,6602
70	71,67	0,70	0,7167
80	81,30	0,80	0,8130
90	90,59	0,90	0,9059

Согласно рисунку 3 произвели определение значений мольных долей пропилена в паре, кмоль/кмоль смеси:

$$y_D = 0,95 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

$$y_f = 0,69 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

$$y_w = 0,06 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

В целях достижения наибольшей точности расчета проведем определение оптимального флегмового числа и числа теоретических тарелок графическим методом, с последующим сопоставлением результатов с

Ине. № подл	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

количеством тарелок реально существующей колонны.

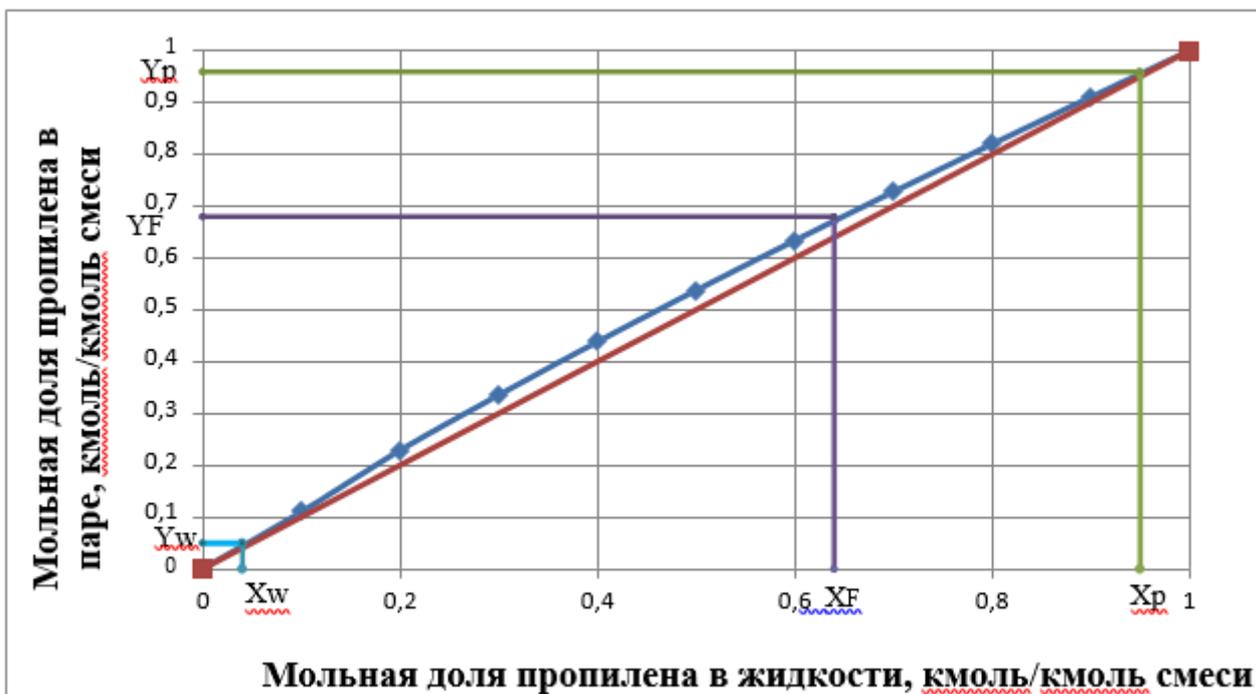


Рисунок 2 - Определение значений y_p, y_f, y_w по у-х диаграмма для бинарной смеси пропан-пропилен

Определяем оптимальное рабочее флегмовое число графическим методом, для этого:

Определяем минимальное флегмовое число по формуле [2, с. 229]:

$$R_{min} = \frac{x_D - y_f^i}{y_f^i - x_f} = \frac{0,952 - 0,689}{0,689 - 0,651} = 6,908$$

В соответствии с [4, с. 491] коэффициент избытка флегмы рекомендовано принимать в интервале от 1,05 до 1,5. Примем значение коэффициента избытка флегмы в пределах от 1,1 до 2,5, поскольку лишь в данных пределах вариации коэффициента избытка флегмы, возможно определение по х-у диаграмме числа теоретических тарелок (рисунок 14-20). При принятии в расчетах коэффициента избытка флегмы 1,1 и менее, значение отрезка B_1 увеличивается, увеличивая тем самым и угол наклона рабочей линией укрепляющей части колонны, которая при значении $\beta \leq 1,1$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

не пересекает вертикаль заданного состава исходной жидкости, в результате чего не возможно адекватное определение числа теоретических тарелок методом Мак-Кэба и Тиле.

Задаемся рядом значений коэффициента избытка флегмы β от 1,05 до 2,5 и рассчитаем соответствующие рабочие флегмовые числа R по формуле [2, с. 229]:

$$R = R_{min} \cdot \beta$$

$$R_1 = R_{min} \cdot \beta_1 = 6,908 \cdot 1,2 = 8,29$$

$$R_2 = R_{min} \cdot \beta_2 = 6,908 \cdot 1,4 = 9,68$$

$$R_3 = R_{min} \cdot \beta_3 = 6,908 \cdot 1,5 = 10,36$$

$$R_4 = R_{min} \cdot \beta_4 = 6,908 \cdot 1,8 = 12,43$$

$$R_5 = R_{min} \cdot \beta_5 = 6,908 \cdot 2 = 13,82$$

$$R_6 = R_{min} \cdot \beta_6 = 6,908 \cdot 2,5 = 17,27$$

Для каждого значения R на y - x диаграмме строим рабочие линии укрепляющей и исчерпывающей частей колонны по уравнениям [2, с.230]:

Для укрепляющей части:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}$$

Для исчерпывающей части:

$$y = \frac{R+F}{R+1} \cdot x + \frac{F-1}{R+1} \cdot x_w$$

Для каждого случая определяем теоретическое число ступеней изменения концентраций $N_{тар}$ по методу Мак-Кэба и Тиле.

$$B = \frac{x_D}{R+1}$$

$$B_1 = \frac{x_D}{R_1+1} = \frac{0,952}{8,29+1} = 0,102$$

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	
Взам. инв. №	
Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

$$B_2 = \frac{x_D}{R_2 + 1} = \frac{0,952}{9,68 + 1} = 0,089$$

$$B_3 = \frac{x_D}{R_3 + 1} = \frac{0,952}{10,36 + 1} = 0,083$$

$$B_4 = \frac{x_D}{R_4 + 1} = \frac{0,952}{12,43 + 1} = 0,07$$

$$B_5 = \frac{x_D}{R_5 + 1} = \frac{0,952}{13,82 + 1} = 0,06$$

$$B_6 = \frac{x_D}{R_6 + 1} = \frac{0,952}{17,27 + 1} = 0,05$$

Приведем результаты в таблицу :

Таблица 2. Определение оптимального рабочего флегмового числа

№	β	R	N	N(R+1)
1	1,2	8,29	103	956,87
2	1,4	9,68	97	1035,96
3	1,5	10,36	94	1079,2
4	1,8	12,43	89	1195,27

Продолжение таблицы 2

5	2	13,82	86	1276,24
6	2,5	17,27	71	1297,17

По построенному графику $N(R+1)=f(R)$. Определяем оптимальное флегмовое число, которое соответствует минимуму данного графика.

Принимая по графику оптимальное флегмовое число $R=8,29$. Оптимальному флегмону числу соответствует 103 тарелки.

Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № дубл. Взам. инв. №. Подп. и дата.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

25

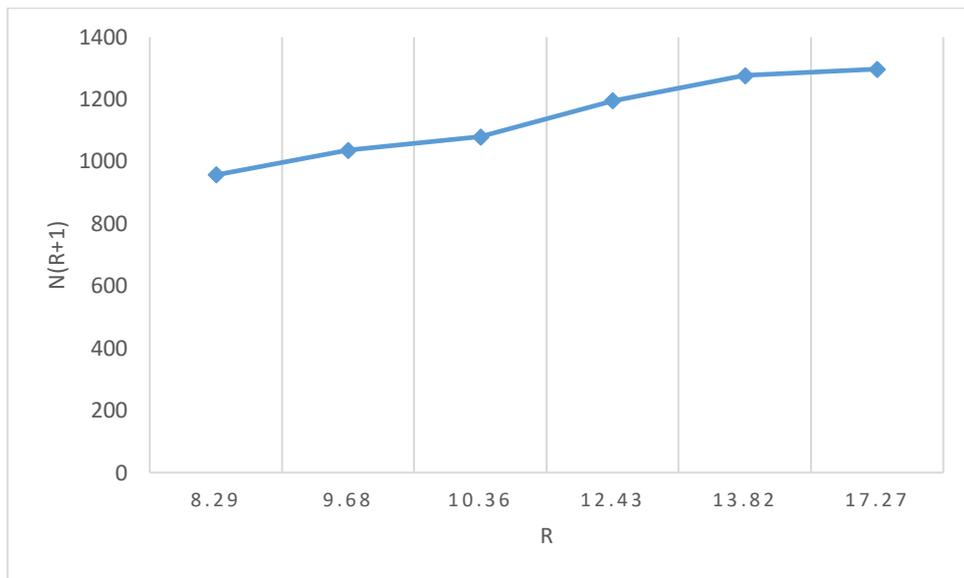


Рисунок 3-Определение рабочего флегмового числа

Определение числа теоретических ступеней

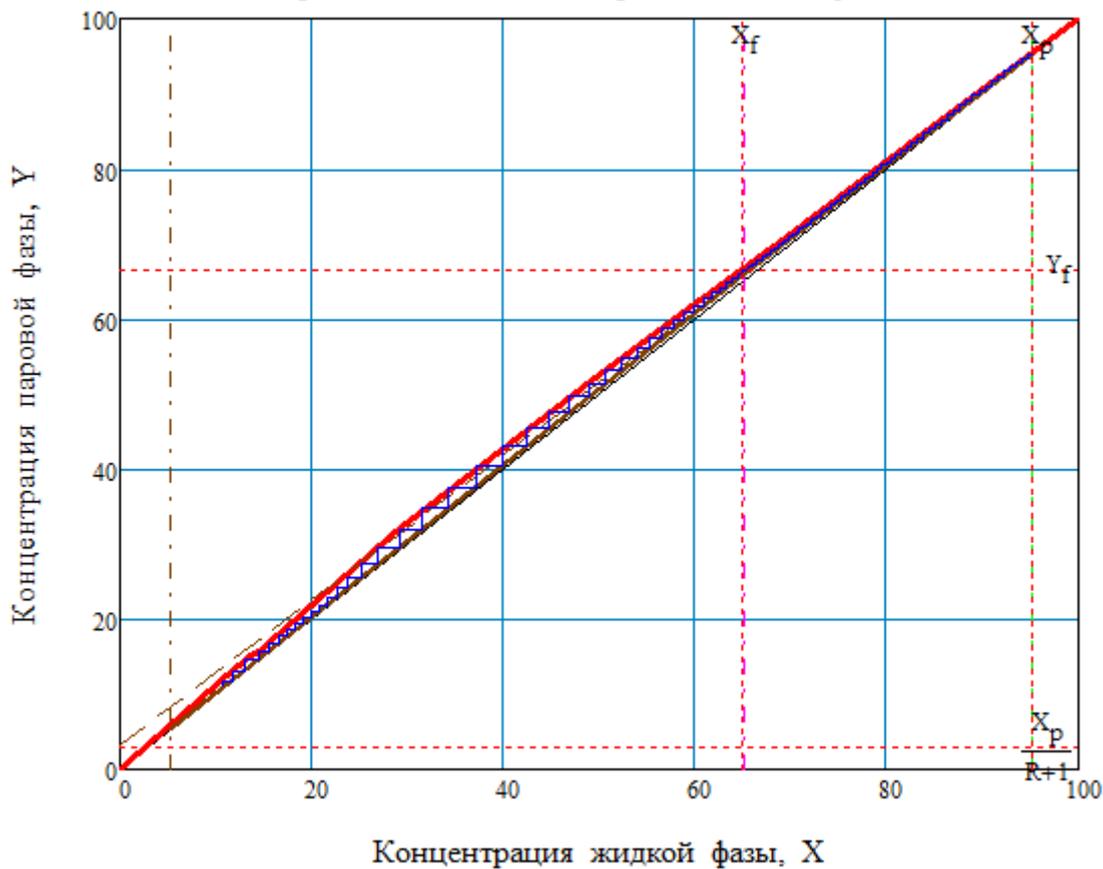


Рисунок 4- Определение числа теоретических ступеней

Найдем уравнения рабочих линий

Для укрепляющей части колонны:

Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1} = \frac{8,3}{8,3+1}x + \frac{0,952}{8,3+1} = 0,892x + 0,102$$

Для исчерпывающей части:

$$y = \frac{R+F}{R+1} \cdot x + \frac{F-1}{R+1} \cdot x_w = \frac{8,3+1,5}{8,3+1}x - \frac{1,5-1}{8,3+1} \cdot 0,052 = 1,05x - 0,002$$

где, F- относительный мольный расход питания:

$$F = \frac{x_p - x_w}{x_f - x_w} = \frac{0,952 - 0,052}{0,651 - 0,052} = 1,5$$

1.5. Массовые расходы жидкости и пара в различных частях колонны

Усредненное значение массовых расходов по жидкости для верхней и нижней частей колонны определяются из соотношений [2, с. 230]:

$$L_B = \frac{PRM_B}{M_P} \quad (1.8)$$

$$L_H = \frac{PRM_H}{M_P} + \frac{FM_H}{M_F} \quad (1.9)$$

Где, M_P, M_F - мольные массы дистиллята и исходной смеси; M_B и M_H - средние мольные массы жидкости в верхней и нижней частях колонны.

Средние мольные массы жидкости в верхней и нижней частях колонны [2, с. 230]:

$$M_B = M_H x_{\text{ср.в.}} + M_B (1 - x_{\text{ср.в.}}) = 42 \cdot 0,8 + 44(1 - 0,8) = 42,4 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}$$

$$M_H = M_H x_{\text{ср.н.}} + M_B (1 - x_{\text{ср.н.}}) = 42 \cdot 0,35 + 44(1 - 0,35) = 43,3 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						27

где, M_M и $M_{\text{воды}}$ – мольные массы метанола и воды; $x_{\text{ср.в.}}$ и $x_{\text{ср.н.}}$ – среднемольный состав жидкости в верхней и нижней частях колонны [2, с. 230]:

$$x_{\text{ср.в.}} = \frac{x_P + x_F}{2} = \frac{0,95 + 0,65}{2} = 0,8 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

$$x_{\text{ср.н.}} = \frac{x_W + x_F}{2} = \frac{0,052 + 0,65}{2} = 0,336 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Мольная масса исходной смеси, кг/кмоль:

$$M_F = 42 \cdot 0,65 + 44(1 - 0,65) = 42,7$$

Мольная масса смеси дистиллята, кг/кмоль:

$$M_P = 42 \cdot 0,95 + 44(1 - 0,95) = 42,1$$

Подставляя полученные величины в уравнения (1.8) и (1.9), получим [2, с. 230] средние массовые расходы по жидкости для верхней и нижней частей колонны, кг/с:

$$L_B = \frac{PRM_B}{M_P} = \frac{2,89 \cdot 8,75 \cdot 42,4}{42,1} = 17,01 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$L_H = \frac{2,89 \cdot 8,75 \cdot 43,3}{42,1} + \frac{1,49 \cdot 43,3}{42,7} = 23,54 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Средние массовые потоки пара в верхней G_B и нижней G_H частях колонны соответственно равны [2, с. 231]:

$$G_B = P(R + 1) \frac{M'_B}{M_P} = 2,89(8,75 + 1) \frac{42,36}{42,1} = 19 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$G_H = P(R + 1) \frac{M'_H}{M_P} = 2,89(8,75 + 1) \frac{43,26}{42,1} = 19,4 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Здесь M'_B , и средние мольные массы паров в верхней и нижней частях колонны [2, с. 239]:

$$M'_B = M_H y_{\text{ср.в.}} + M_B(1 - y_{\text{ср.в.}}) = 42 \cdot 0,82 + 44(1 - 0,82) = 42,36$$

$$M'_H = M_H y_{\text{ср.н.}} + M_B(1 - y_{\text{ср.н.}}) = 42 \cdot 0,37 + 44(1 - 0,37) = 43,26$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Где ,

$$y_{\text{ср.в.}} = \frac{y_P + y_F}{2} = \frac{0,95 + 0,69}{2} = 0,82 \frac{\text{КМОЛЬ}}{\text{КМОЛЬ СМЕСИ}}$$

$$y_{\text{ср.н.}} = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,05 + 0,69}{2} = 0,37 \frac{\text{КМОЛЬ}}{\text{КМОЛЬ СМЕСИ}}$$

Определение скорости пара и диаметра колонны

Рассчитываем средние температуры паров в колонне по t-x-y зависимости по средним составам фаз:

$$t(x) = 10^{x \cdot \log(t_{\text{ка}}) + (1-x) \cdot \log(t_{\text{кв}})}$$

где, $t_{\text{ка}}$ и $t_{\text{кв}}$ – температуры кипения пропилена и пропана, °C;

$$x = 0.5$$

Given

$$Y_{\text{раб}(x)} = y_{\text{ср.н}}$$

$$x_{\text{н}} = \text{Find}(x)$$

$$x_{\text{н}} = 0.315 t_{\text{ун}}$$

$$t_{\text{ун}} = t_{(x_{\text{н}})}$$

Температура пара в нижней части колонны: $t_{\text{ун}} = 47.68^\circ\text{C}$;

Аналогичным образом рассчитываем следующие температуры

Температура пара в верхней части колонны: $t_{\text{ув}} = 37.13^\circ\text{C}$;

Температура жидкости в верхней части колонны: $t_{\text{хн}} = 48.32^\circ\text{C}$;

Температура жидкости в нижней части колонны : $t_{\text{ун}}=37.83^\circ\text{C}; t_{\text{ун}} = 37.83^\circ\text{C}$

Принимаем средние температуры по колонне : $t_{\text{в}} = 37^\circ\text{C}, t_{\text{н}} = 48^\circ\text{C}$;

Отсюда получим, плотности пара $\rho_{\text{ув}}, \rho_{\text{ун}}$ в верхней и нижней частях колонны, кг/м³:

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Име. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

29

$$\rho_{ув} = \frac{M'_{cp} T_0}{22,4 T'_{cp}} = \frac{42,36 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 38)} = 1,66 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{ун} = \frac{M'_{cp} T_0}{22,4 T'_{cp}} = \frac{43,26 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 52)} = 1,64 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Плотность жидкостей $\rho_{хв}, \rho_{хн}$ в верхней и нижней частях колонны, $\text{кг}/\text{м}^3$

$$\rho_{хв} = \rho x_1 \cdot x_{ср.в} + (1 - x_{ср.в}) \cdot \rho x_2 = 456,522 \cdot 0,8 + (1 - 0,8) \cdot 425,094 = 450 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{хн} = \rho x_1 \cdot x_{ср.н} + (1 - x_{ср.н}) \cdot \rho x_2 = 456,522 \cdot 0,351 + (1 - 0,351) \cdot 425,094 = 436 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

2.1. Расчет вязкости компонентов

Вязкости паров в верхней и нижней части колонны рассчитываются по уравнениям [2, с.234]:

$$\mu_{ув} = \frac{M'_B}{y_{ср.в} \cdot \frac{M_H}{\mu_H} + (1 - y_{ср.в}) \cdot \frac{M_B}{\mu_B}}$$

$$\mu_{ун} = \frac{M'_B}{y_{ср.н} \cdot \frac{M_H}{\mu'_H} + (1 - y_{ср.н}) \cdot \frac{M_B}{\mu'_B}}$$

Примем динамические коэффициенты вязкости пропана и пропилена интерполируя представленные значения в [5],[6, с.1003] равными $\mu_H = 894 \cdot 10^{-8} \text{ Па} \cdot \text{с}$, и $\mu_B = 845 \cdot 10^{-8} \text{ Па} \cdot \text{с}$ для верхней части колонны ($t_H = 37^\circ\text{C}$), и $\mu'_H = 935 \cdot 10^{-8} \text{ Па} \cdot \text{с}$, и $\mu'_B = 883 \cdot 10^{-8} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ($t_B = 48^\circ\text{C}$).

Вязкости паров в верхней и нижней части:

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. инв. №
Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						30

$$\mu_{\text{ув}} = \frac{42,36}{0,82 \cdot \frac{42}{894 \cdot 10^{-8}} + (1 - 0,82) \frac{44}{845 \cdot 10^{-8}}} = 0,00884 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{\text{ун}} = \frac{43,26}{0,36 \cdot \frac{42}{935 \cdot 10^{-8}} + (1 - 0,36) \frac{44}{883 \cdot 10^{-8}}} = 0,00874 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

Тогда, вязкости жидкости в верхней и нижней частях колонны находим по уравнениям [2, с.231]:

$$\begin{aligned} \log \mu_{\text{хв}} &= x_{\text{срв}} \log \mu_{\text{н}} + (1 + x_{\text{срв}}) \log \mu_{\text{в}} = 0,8 \log(894 \cdot 10^{-8}) + (1 \\ &- 0,8) \log(845 \cdot 10^{-8}) = 0,00884 \text{ мПа} \cdot \text{с}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log \mu_{\text{хн}} &= x_{\text{срн}} \log \mu_{\text{н}'} + (1 + x_{\text{срн}}) \log \mu_{\text{в}'} = 0,35 \log(935 \cdot 10^{-8}) + (1 \\ &- 0,35) \log(883 \cdot 10^{-8}) = 0,00874 \text{ мПа} \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

2.2. Скорость пара и диаметр колонны

В соответствии с рекомендацией [2, с. 237] произведем расчет допустимой скорости паров по уравнению:

$$\omega = 0,05 \sqrt{\rho_{\text{x}}/\rho_{\text{y}}}; \quad (2.5)$$

Рабочая скорость в верхней и нижней частях колонны соответственно равна, м/с:

$$\omega_{\text{в}} = 0,05 \sqrt{450/1,66} = 0,85 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\omega_{\text{н}} = 0,05 \sqrt{436/1,64} = 0,83 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

В целях интенсификации процесса тепло- и массообмена, из экономических соображений для уменьшения габаритных размеров колонны, до значений действующей аналогичной проектируемой колонне, примем рабочую скорость в верхней и нижней части колонны равной

Инв. № по бл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212.001 ПЗ
					31

соответственно: $\omega_{\text{в}} = 1,6 \text{ м/с}$, $\omega_{\text{н}} = 1,7 \text{ м/с}$ [2, с. 197]. Ориентировочный диаметр колонны определяют из уравнения расхода в соответствии с рекомендацией [2, с. 238]:

Рассчитаем диаметры верхней части:

$$d = \sqrt{\frac{4G}{\pi \cdot \omega_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{ср}}}}$$

Как правило, несмотря на разницу в рассчитанных диаметрах верхней и нижней частей колонны изготавливают колонну единого диаметра, равного большему из рассчитанных [2, с.231].

Поскольку скорости $\omega_{\text{в}}$ и $\omega_{\text{н}}$ соизмеримы и мало отличаются друг от друга, в соответствии с рекомендацией [2, с.238] в качестве расчетной примем среднюю скорость паров, м/с:

$$\omega = \frac{1,6 + 1,7}{2} = 1,65 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Поскольку массовые потоки в верхней и нижней части колонны соизмеримы, в соответствии с рекомендацией [2, с.238] в качестве расчетного значения массового потока примем среднее значение потоков $G_{\text{в}}$ и $G_{\text{н}}$, кг/с:

$$G = \frac{19 + 19,4}{2} = 19,2 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Поскольку плотность паров в верхней и нижней части колонны соизмеримы, в соответствии с рекомендацией [2, с.238] в качестве расчетного значения плотности паров примем среднюю плотность паров $\rho_{\text{ув}}$ и $\rho_{\text{ун}}$, кг/м³ :

$$\rho_{\text{у}} = \frac{\rho_{\text{ув}} + \rho_{\text{ун}}}{2} = \frac{1,66 + 1,64}{2} = 1,65 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Диаметр колонны, м:

Инд. № подл.	Подл. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Подл. и дата	Подл. и дата
Инд. № подл.	Инд. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подл.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$d = \sqrt{4 \cdot 19,2 / (3,14 \cdot 1,65 \cdot 1,65)} = 3 \text{ м}$$

В соответствии с рекомендацией [2, с.238] о необходимости выбора исполнительной величины диаметра колонны из стандартных значений, представленных в [2, с.197] в качестве исполнительного диаметра проектируемой колонны примем: $d_{ст}=3 \text{ м}$.

Тогда в соответствии с [2, с.238] рабочая скорость пара, м/с:

$$\omega = \omega_{ср} \left(\frac{d}{d_{ст}} \right)^2 = 1,65 \cdot \left(\frac{3}{3,01} \right)^2 = 1,65 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

В соответствии с рекомендациями [2, с. 214] в качестве исполнительного типа тарелки принимаем ситчатую тарелку. Для аппаратов работающих по давлению в соответствии с таблицей 1, ОСТ 26-805-73 рекомендовано использование ситчатых разборных однопоточных тарелок. Для колонны диаметром 3000 мм из приведенных стандартных значений таблицы 1, ОСТ 26-805-73 примем ситчатую тарелку типа ТС-Р2 со следующими конструктивными параметрами принятыми в соответствии с таблицей 2, ОСТ 26-805-73 [7]:

Таблица 3. Основные параметры тарелки ТС-Р2 по ОСТ 26-805-73[7].

Свободное сечение колонны, м	Рабочее сечение тарелки F_a , м	Относительное свободное сечение тарелки F_c , %	Сечение перелива, $F_{сл}$ м ²	Относительная площадь перелива $F_{сл}/F_K \times 100$ %
7,06	4,520	5,50%	1,270	18
$L_{сл}$, м	Масса, кг			
2,610	220			

Примем диаметр отверстий равным 3 мм, шаг между отверстиями 10 мм, в соответствии с рекомендацией [2, с.216]: , $t = 0,01 \text{ м}$.

Ине. № дубл.	Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Ине. № подл.	Подп. и дата
Ли	Изм.	№ докум.
		Подп.
		Дат

В соответствии с рекомендацией [2, с.238] произведем расчет скорости пара в рабочем сечении тарелки, м/с:

$$\omega_T = \omega \cdot 0,785 \cdot \frac{d^2}{S_T} = \frac{1,65 \cdot 0,785 \cdot 3,0^2}{4,520} = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Найдем скорости потоков в штуцерах:

Примем скорость жидкости в штуцере в пределах от 0,5-1 м/с , для газов 10-25(40) м/с.

Штуцер для ввода исходной смеси:

$$d_{исх} = \sqrt{\frac{4G_F}{\pi \cdot \omega_F \cdot \rho_F}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,076}{\pi \cdot 0,776 \cdot 443,26}} = 150 \text{ мм}$$

Штуцер для отвода кубового остатка:

$$d_{исх} = \sqrt{\frac{4G_W}{\pi \cdot \omega_W \cdot \rho_W}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,04}{\pi \cdot 0,513 \cdot 445,25}} = 50 \text{ мм}$$

Штуцер для подачи флегмы :

$$d_{исх} = \sqrt{\frac{4G_{\Phi}}{\pi \cdot \omega_D \cdot \rho_D}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16,895}{\pi \cdot 0,781 \cdot 441}} = 250 \text{ мм}$$

Где массовый расход флегмы равен $G_{\Phi} = G_D \cdot R$

Штуцер для ввода пара кубовой смеси:

$$d_{исх} = \sqrt{\frac{4G_W}{\pi \cdot \omega_{W\Pi} \cdot \rho_{W\Pi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,04}{\pi \cdot 20 \cdot 1,598}} = 400 \text{ мм}$$

где,

$$\rho_{W\Pi} = \frac{M_{H \cdot T}}{22,4 \cdot (T + t_W)} = 1,598 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Штуцер для отвода паров дистиллята :

$$d_{исх} = \sqrt{\frac{4G_{\Pi}}{\pi \cdot \omega_{\Pi} \cdot \rho_{\Pi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 18,9}{\pi \cdot 1,776 \cdot 30}} = 500 \text{ мм}$$

Где,

$$\rho_{\Pi} := \frac{M_{\Pi} \cdot T}{22,4 \cdot (T + t_D)} = 1,709 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

2.3 Определение высоты колонны

2.3.1. Расчет высоты светлого слоя жидкости на тарелке и паросодержания барботажного слоя

Высоту слоя жидкости для ситчатых тарелок рассчитаем в соответствии с рекомендацией [2, с. 240] по уравнению:

$$h_0 = 0,787 \cdot q^2 \cdot h_{\text{пер}}^{0,56} \cdot \omega_T^m \cdot [1 - 0,31 \exp(-0,11 \cdot \mu_x)] \cdot \left(\frac{\sigma_H}{\sigma_B}\right)^{0,09}$$

где, $h_{\text{пер}}$ - высота переливной перегородки, м; $q=L/(\rho_x L_{\text{сл}})$ - удельный расход жидкости на 1 м сливной перегородки, м²/с; $h_{\text{пер}}$ - высота переливной перегородки, м; σ_B и σ_H - поверхностное натяжение пропилена и пропана в колонне, м - расчетный коэффициент, м.

Примем в соответствии с рекомендацией [2, с. 216] высоту переливной перегородки равной 40 мм (0,04 м).

Расчетный коэффициент $m = 0,05 - 4,6 \cdot h_{\text{пер}} = 0,05 - 4,6 \cdot 0,04 = -0,134$ м

Примем поверхностное натяжение пропилена и пропана интерполируя данные [6, 8] в верхней части колонны ($t= 38^{\circ}\text{C}$), Н/м:

$$\sigma_B = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}; \sigma_H = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

и в нижней части колонны ($t= 52^{\circ}\text{C}$), Н/м :

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212.001 ПЗ

$$\sigma_B = 63,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}; \sigma_H = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Удельный расход жидкости на 1 м сливной перегородки для верхней части колонны [2, с. 240], м²/с:

$$q_B = \frac{L_B}{\rho_{XB} \cdot L_{CL}} = \frac{25,5}{450 \cdot 2,740} = 0,0207 \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

Для нижней части колонны:

$$q_H = \frac{L_H}{\rho_{XB} \cdot L_{CL}} = \frac{27,52}{436 \cdot 2,740} = 0,0230 \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

Тогда, высота слоя жидкости для верхней и нижней частей колонны соответственно, м:

$$h_{0B} = 0,787 \cdot 0,0207^2 \cdot 0,04^{0,56} \cdot 2,64^{-0,134} \cdot [1 - 0,31 \exp(-0,11 \cdot 0,00884)] \cdot \left(\frac{6 \cdot 10^{-3}}{6,1 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,09} = 0,0336 \text{ м}$$

$$h_{0H} = 0,787 \cdot 0,0230^2 \cdot 0,04^{0,56} \cdot 2,64^{-0,134} \cdot [1 - 0,31 \exp(-0,11 \cdot 0,00874)] \cdot \left(\frac{3,6 \cdot 10^{-3}}{3,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,09} = 0,0414 \text{ м}$$

Поскольку высота слоя в верхней и нижней части колонны соизмеримы, в соответствии с рекомендацией [2, с.240] в качестве расчетного значения высоты слоя примем среднее значение h_{0B} и h_{0H} , м:

$$h_0 = \frac{h_{0B} + h_{0H}}{2} = \frac{0,0336 + 0,0414}{2} = 0,0375 \text{ м}$$

Примем $h_0 = 0,038 \text{ м}$

Паросодержание барботажного слоя ε находят по формуле [2, с. 240]:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{F_r}}{1 + \sqrt{F_r}}$$

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата
Инд. № подл.	Инд. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

где, безразмерный расчетный коэффициент, F_r :

$$F_r = \frac{\omega_m^2}{g \cdot h_0}$$

Для верхней и нижней частей колонны соответственно [2, с. 240]:

$$F_{r_{\text{в}}} = \frac{2,64^2}{9,81 \cdot 0,038} = 18,696; F_{r_{\text{н}}} = \frac{2,64^2}{9,81 \cdot 0,038} = 18,696;$$

Тогда, паросодержание барботажного слоя ε [2, с. 240]:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{18,696}}{1 + \sqrt{18,696}} = 0,812$$

2.3.2.Определение коэффициентов массопередачи и высоты колонны

Рассчитаем коэффициенты молекулярной диффузии в жидкой D_x и паровой D_y фазах.

Коэффициент диффузии в жидкости при средней температуре t равен:

$$D_x = D_{x20}[1 + b(t - 20)]$$

Коэффициент диффузии в жидкости при 20°C в соответствии с рекомендацией [2, с.234] приближенно возможно рассчитать согласно формуле:

$$D_{xH20} := \frac{10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_a} + \frac{1}{M_b}}}{\sqrt{\mu_{xH20} \cdot \left(\nu_a^{\frac{1}{3}} + \nu_b^{\frac{1}{3}} \right)^2}}$$

где, A, B - коэффициенты, зависящие от свойств растворенного вещества и растворителя; ν, ν - мольные объемы компонентов в жидком состоянии при температуре кипения, см³/моль; μ_x - вязкость жидкости, мПа·с.

Температурный коэффициент b определяется по формуле [2, с. 235]:

Инь. № подл.	Подп. и дата
Инь. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

37

$$b = \frac{0.2\sqrt{\mu_X}}{\sqrt[3]{\rho_X}}$$

Тогда:

$$b_B := 0.2 \frac{\sqrt{\mu_X}}{\sqrt[3]{\rho_X}} = 7.62 \cdot 10^{-5}$$

$$b_N = 7.685 \cdot 10^{-5}$$

Мольные объемы компонентов в жидком состоянии при температуре кипения, примем в соответствии с [9] см³/моль:

$$v_B = 66.6 \frac{\text{М}^3}{\text{атом}}$$

$$v_H = 74 \frac{\text{М}^3}{\text{атом}}$$

Примем в соответствии с данными [10]

Коэффициент диффузии в жидкости для верхней и нижней части колонны при 20 °С соответственно равен [2, с. 235], м²/с:

$$D_{XB20} = 1.098 \cdot 10^{-6} \frac{\text{М}^2}{\text{с}}$$

$$D_{XH20} = 1.111 \cdot 10^{-6} \frac{\text{М}^2}{\text{с}}$$

Коэффициент диффузии в жидкости верхней и нижней части колонны соответственно, м²/с:

$$D_{XB} = 1.1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{М}^2}{\text{с}}$$

$$D_{XH} = 1.113 \cdot 10^{-6} \frac{\text{М}^2}{\text{с}}$$

Коэффициент диффузии в паровой фазе может быть

вычислен по уравнению [2, с.234]:

Име. № подл	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

38

$$D_Y = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} T^{\frac{3}{2}}}{P(v_m^{\frac{1}{3}} + v_B^{\frac{1}{3}})^2} \sqrt{1/M_M + M_B}$$

где, T - средняя температура в соответствующей части колонны, K ; P - абсолютное давление в колонне, Па.

Коэффициент диффузии в паровой фазе, в верхней и нижней частях колонны:

$$D_{YB} = 3,651 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{c}$$

$$D_{YH} = 3,839 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{c}$$

Уравнения для расчета коэффициентов массоотдачи, для тарелок барботажного типа имеют вид [2, с.239]:

$$\beta_X = 6,24 \cdot 10^5 \cdot D_X^{0,5} \left(\frac{U}{1-\varepsilon}\right)^{0,5} \cdot h_0 \left(\frac{\mu_Y}{\mu_X + \mu_Y}\right)^{0,5}$$

$$\beta_{XH} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot F_C \cdot D_Y^{0,5} \left(\frac{\omega_T}{\varepsilon}\right)^{0,5} \cdot h_0 \left(\frac{\mu_Y}{\mu_X + \mu_Y}\right)^{0,5}$$

где, U - плотность орошения, $m^3/(m^2 \cdot c)$:

$$U_B = \frac{L_B}{\rho_{XB} \cdot 0,785d^2} = 5,349 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{m^2 \cdot c}$$

$$U_H = \frac{L_H}{\rho_{XH} \cdot 0,785d^2} = 0,0036 \frac{m^3}{m^2 \cdot c}$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, для верхней и нижней частей колонны соответственно:

$$\beta_{XB} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot D_{XB}^{0,5} \left(\frac{U_B}{1-\varepsilon_B}\right)^{0,5} \cdot h_{0B} \left(\frac{\mu_{YB}}{\mu_{XCB} + \mu_{YB}}\right)^{0,5}$$

$$\beta_{XB} = 2,689 \frac{m}{c}$$

$$\beta_{XH} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot D_{XH}^{0,5} \left(\frac{U_H}{1-\varepsilon_H}\right)^{0,5} \cdot h_{0H} \left(\frac{\mu_{YH}}{\mu_{XCH} + \mu_{YH}}\right)^{0,5}$$

$$\beta_{XH} = 2,23 \frac{m}{c}$$

Коэффициент массоотдачи в паровой фазе, для верхней и нижней частей колонны соответственно:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\beta_{\text{VB}} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot F_C \cdot D_{\text{ВЕР}}^{0,5} \left(\frac{\omega_T}{\varepsilon_B}\right)^{0,5} \cdot h_{0B} \left(\frac{\mu_{\text{VB}}}{\mu_{\text{VCB}} + \mu_{\text{VB}}}\right)^{0,5}$$

$$\beta_{\text{VH}} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot F_C \cdot D_{\text{НИЗ}}^{0,5} \left(\frac{\omega_T}{\varepsilon_H}\right)^{0,5} \cdot h_{0B} \left(\frac{\mu_{\text{VH}}}{\mu_{\text{VCH}} + \mu_{\text{VH}}}\right)^{0,5}$$

$$\beta_{\text{VB}} = 0,885 \frac{\text{M}}{\text{C}}$$

$$\beta_{\text{VH}} = 0,914 \frac{\text{M}}{\text{C}}$$

Произведем пересчет коэффициентов массоотдачи в жидкой и паровой фазе для верхней и нижней части колонны в кмоль/(м²·с), соответственно:

$$\beta_{\text{XB}} = 2,689 \cdot \frac{\rho_{\text{XB}}}{M_B} = 1,012 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

$$\beta_{\text{VB}} = 0,885 \cdot \frac{\rho_{\text{VB}}}{M'_B} = 0,119 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

$$\beta_{\text{XH}} = 2,23 \cdot \frac{\rho_{\text{XB}}}{M_B} = 1,487 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

$$\beta_{\text{VH}} = 0,914 \cdot \frac{\rho_{\text{XB}}}{M_B} = 0,140 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

Коэффициенты массоотдачи, рассчитанные по средним значениям скоростей и физических свойств паровой и жидкой фаз, постоянны для верхней и нижней частей колонны. В то же время коэффициент массопередачи - величина переменная, зависящая от кривизны линии равновесия, т.е. от коэффициента распределения. Поэтому для определения данных, по которым строится кинетическая линия, необходимо вычислить несколько значений коэффициента массопередачи в интервале изменения состава жидкости от x_w до x_p .

Примем $x=0,04$ кмоль/кмоль смеси. Коэффициент распределения компонента по фазам (тангенс угла наклона равновесной линии в этой точке) в соответствии с рисунком 3 п.п. 1.3,

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$m = \operatorname{tg} \alpha = \frac{0.05}{0.04} = 1.25$$

Коэффициент массопередачи вычисляем в соответствии с рекомендацией [2, с.241] по верхней части колонны, кмоль/(м² с):

$$K_{yB} = \frac{1}{1/\beta_{yB} + m/\beta_{xB}} = 0,109 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

$$K_{yH} = \frac{1}{1/\beta_{yH} + m/\beta_{xH}} = 0,126$$

Общее число единиц переноса на тарелку находим по уравнению, [2, с.241]:

$$n_{OyB} = \frac{K_{yB} M_{BP}}{\omega_T \rho_{yB}} = 1,27$$

$$n_{OyH} = \frac{K_{yH} M_H}{\omega_T \rho_{yH}} = 1,19$$

Локальная эффективность равна, [2, с.241]:

$$E_y = 1 - e^{-NOY} = 0,697$$

Для определения эффективности по Мэрфри необходимо рассчитать фактор массопередачи λ , долю байпасирующей жидкости, число ячеек полного перемешивания S и межтарельчатый унос e .

Фактор массопередачи для нижней части колонны, [2, с.241]:

$$\lambda = \frac{m(R+1)}{R} = 4.51$$

В соответствии с рисунком П-23 [11, с.99] примем долю байпасирующей жидкости принимаем $\theta = 0,1$. Для определения числа ячеек полного перемешивания как отношение длины пути жидкости на тарелке l_T к длине l , в соответствии с рекомендацией [2, с.241], примем $l=350$ мм. Тогда длина пути жидкости, м:

$$L = \sqrt{d^2 - b^2} = 1.48$$

Тогда число ячеек полного перемешивания на тарелке равно:

$$S = 4.5$$

Ине. № подл	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. ине. №
Ине. № ине.	Подп. и дата
Ине. № ине.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Коэффициент m , учитывающий влияние на унос физических свойств жидкости и пара, определяют по уравнению [2, с.241]:

$$m = 1.15 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\sigma_X}{\rho_Y} \right)^{0.295} \cdot \left(\frac{\rho_X - \rho_Y}{\mu_Y} \right)^{0.425} = 0.578$$

Высота сепарационного пространства равна расстоянию между верхним уровнем барботажного слоя и плоскостью тарелки, расположенной выше [2, с.242]:

$$H_C = H - h_{II}$$

Примем межтарельчатое расстояние, согласно рекомендации для колонн диаметром 3000 мм [3, с.211], $H=500$ мм. Высота барботажного слоя [2, с.242], м:

$$h_{II} = h_0 / (1 - \varepsilon) = 0.186$$

Тогда, высота сепарационного пространства, м:

$$H_C = H - h_{II} = 0.5 - 0.186 = 0.314$$

В соответствии с рисунком 6.7 [2, с. 242] относительный унос жидкости для ситчатых тарелок при соотношении $\omega_T / (mH_C)$:

$$\omega_T / (mH_C) = 8.34$$

$$e = 0.11 \text{ кг(ж) / кг(п)}$$

Высоту тарельчатой ректификационной колонны определим по формуле [2, с. 244]:

$$H_K = (N - 1) \cdot h + H_{MT} + z_B + z_H$$

где h - расстояние между тарелками, м; z и z - расстояние соответственно между верхней тарелкой и крышкой колонны и между

Ине. № подл.	Подл. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № подл.	Подл. и дата
Ине. № подл.	Подл. и дата
Ине. № подл.	Подл. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

днищем колонны и нижней тарелкой, м. В соответствии с рекомендацией [2, с. 235], примем значения $z_в$ и $z_н$ равными 1,2 м и 2 м соответственно.

Расстояние между тарелками в соответствии рекомендацией [2, с. 211] $h= 0,5$ м. Согласно рекомендации [2, с.211], люк-лаз рекомендуется располагать через каждые 5-10 тарелок, однако поскольку на реально существующей колонне установлено 4 люк-лаза примем, расположим люк-лаз через каждые между тарелками 35 тарелок.

. В соответствии с рекомендацией [2, с. 211], в месте установки люка-лаза расстояние между тарелками установим равным 800 мм.

$$H_k = (103-1) \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 6 + 1,2 + 2 = 5,9 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Примем расчетную высоту колонны равной 59,4 мм.

2.3.3 Расчет гидравлического сопротивления тарелок колонны

В соответствии с рекомендаций [2, с. 244] гидравлическое сопротивление тарелок колонны определяют по формуле:

$$\Delta P_K = \Delta P_B N_B + \Delta P_H N_H$$

где ΔP_B и ΔP_H – гидравлическое сопротивление тарелки верхней и нижней части колонны, Па.

Полное гидравлическое сопротивление одной тарелки определяется по формуле [2, с.245]:

$$\Delta P = \Delta P_C + \Delta P_{ж} + \Delta P_{\sigma}$$

где, ΔP_C - сопротивление сухой тарелки Па;

$\Delta P_{ж}$ - сопротивление слоя жидкости Па;

ΔP_{σ} - сопротивление за счет поверхностного натяжения, Па.

Сопротивление сухой (неорошаемой) тарелки определяется по

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Изм. № подл.	Подл. и дата
Изм. № дубл.	Взам. инв. №
Подл. и дата	Подл. и дата
Изм. № подл.	Подл. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подл.	Дат
----	------	----------	-------	-----

формуле [2, с. 245]:

$$\Delta P_c = \frac{\xi \cdot \omega^2 \cdot \rho_n}{2 \cdot F_c^2}$$

где ξ - коэффициент сопротивления сухих тарелок (принимается в соответствии с рекомендацией [2, с.210] для ситчатых тарелок 1,5);

ρ_n - средняя плотность пара в среднем сечении для соответствующей части колонны, кг/м³;

F_c - относительное свободное сечение тарелки в соответствии с таблицей 2, ОСТ 26-805-73, $F_c = 0,055 \cdot 7,06 = 0,388 \text{ м}^2$;

- действительная скорость пара для определенной части колонны, м/с.

Тогда сопротивление сухой тарелки, Па:

$$\Delta P_{CB} = \frac{\xi \cdot \omega^2 \cdot \rho_n}{2 \cdot F_c^2} = 8,722 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{CB} = \frac{\xi \cdot \omega^2 \cdot \rho_n}{2 \cdot F_c^2} = 8,613 \text{ Па}$$

Сопротивление слоя жидкости на тарелке определяется по формуле [2, с.244]:

$$\Delta P_{ЖВ} = \rho_{ХВ} \cdot g \cdot h_{0В} = 75.093 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{ЖН} = \rho_{ХН} \cdot g \cdot h_{0Н} = 72.735 \text{ Па}$$

где, $\rho_{ж}$ - средняя плотность жидкости в среднем сечении соответствующей части колонны, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; h_0 - высота барботажного слоя на тарелке, м. Примем за расчетные значения поверхностного натяжения жидкости для верхней и нижней части колонны равным, Н/м:

$$\sigma_B = 6,05 \cdot 10^{-3} \frac{H}{M}; \sigma_H = 3,7 \cdot 10^{-3} \frac{H}{M}$$

Гидравлическое сопротивление, обусловленное силами поверхностного натяжения для верхней и нижней частей колонны, равно соответственно, Па:

Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Име. № подл.	Подп. и дата	Име. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\Delta P_{\sigma B} = \frac{4\sigma_B}{d} = 6.812 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\sigma H} = \frac{4\sigma_H}{d} = 5.357 \text{ Па}$$

Тогда полное сопротивление одной тарелки верхней и нижней частей колонны соответственно равно, Па:

$$\Delta P_B = \Delta P_{CB} + \Delta P_{\text{жВ}} + \Delta P_{\sigma B} = 90,628 \text{ Па}$$

$$\Delta P_H = \Delta P_{CH} + \Delta P_{\text{жН}} + \Delta P_{\sigma H} = 86,704 \text{ Па}$$

Полное гидравлическое сопротивление ректификационной колонны [2, с.244], Па:

$$\Delta P_K = N \cdot (\Delta P_B + \Delta P_H) = 1.827 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № инв.	Подп. и дата	Лист
ФЮРА.066212.001 ПЗ							

3. Механический расчет

3.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, днища и крышки

Исходные данные

Высота цилиндрической обечайки, мм	$H := 59400$
Внутренний диаметр, мм	$D := 3000$
Рабочее давление, МПа	$P := 2$
Расчетная температура, °С	$t_c := 60$
Годовой показатель коррозии, мм/год	$\Pi := 0.06 [13с.18]$
Расчетный срок эксплуатации, лет	$t_B := 15$
Плотность стали при 20 °С $\frac{кг}{м^3}$	$\rho := 7800$
Плотность воды при 20 °С $\frac{кг}{м^3}$	$\rho_B := 1000$

3.1.1. Выбор материала ректификационной колонны

Выбор определенной исполнительной марки стали, в соответствии с рекомендациями [14, с.37], обусловлен специфическими условиями работы, и соответственно необходимостью удовлетворения выбранной маркой стали определенных критериев, таких как хладостойкость, совместимость по агрессивности среды, доступность на рынке и сравнительная дешевизна.

В соответствии с рекомендацией [15, с.17] материал для изготовления стальных сварных аппаратов должен быть химически и

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

					ФЮРА.066212.001 ПЗ		
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата			
Студент.		Тогузбаева Д.			Лит	Лист	Листов
Руковод.		Беляев В.М.			Д	46	88
Конс.					Механический расчет НИ ТПУ ИШНПТ группа 4Г6Б		
Н. контр.							
Рук.ООП		Беляев В.М.					

коррозионностойким в заданной среде, при рабочих параметрах, обладать хорошей свариваемостью и соответствующими прочностными и пластическими характеристиками в рабочих условиях, допускать холодную и горячую механическую обработку, а так же иметь низкую стоимость и высокую распространенность на рынке.

Рабочая среда - смесь пропана и пропанола обладает сильной коррозионной активностью, особенно в интервале температур от 10 до 40 °С. Годовой показатель коррозии низколегированных сталей в данной среде в соответствии с данными [13, с. 18] составляет от 0.1-0.3 мм/год. В качестве исполнительной марки стали выбираем низколегированную низкоуглеродистую сталь.

Поскольку проектируемая колонна будет размещена на открытой площадке в виду суровых климатических условий Сибирского региона необходимо изготовление колонны из холодноустойчивой стали. В качестве исполнительной марки стали выбираем сталь 09Г2С рекомендуемую для изготовления сварной аппаратуры в химической, пищевой и других отраслях промышленности, при расчетной температуре от -70 до 300 0С. Сталь 09Г2С обладает коррозионной стойкостью в заданных условиях эксплуатации, дешевизной и доступностью на рынке, хорошей свариваемостью и хладостойкостью.

3.1.2 Определение расчетных параметров и толщин стенок ректификационной колонны

Определение допускаемых напряжений при расчетной температуре, МПа:

Примем расчетную температуру стенки колонны, равной температуре среды:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$t_p := t_c$$

$$t_p := \max(t_c, 20) \quad t_p = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$\eta := 1$ – поправочный коэффициент, принятый в соответствии с рекомендацией [16] п.8.3. поскольку аппарат изготавливается из листового проката.

Допускаемое напряжение, определим согласно ГОСТ 34233.1-2007 табл. А.1 интерполируя стандартные значения, с последующим округлением в меньшую сторону в пределах до 0,5 МПа в соответствии в данными рекомендации ГОСТ 34233.1-2007 [16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 196 \\ 177 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_{pT}), 0.1)$$

$$\sigma = 186.5 \text{ МПа}$$

$\sigma = 186.5$ МПа – Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при расчетной температуре.

Допускаемое напряжение для стали с учетом поправочного коэффициента, принятого в соответствии с ГОСТ 34233.1 – 2007 п.8.3., [16] МПа:

$$\sigma_d := \eta \cdot (\sigma) \quad \sigma_d = 186.5$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при гидравлических испытаниях, МПа:

$$\sigma_{И} := \text{Floor}\left(\frac{R_{e20}}{1.1}, 0.5\right)$$

коэффициент запаса прочности, примем в соответствии с рекомендацией ГОСТ34233.1-2007 Таблица 1., равным:

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$n_T := 1.1$$

Расчетное значение предела текучести при 20 °С для стали 09Г2С примем чуть выше установленного нормативами ГОСТ 34233.1-2007 таблицей Б.1., в соответствии с рекомендацией [17 с.104]:

$$R_{e20} := 300 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{и} := \text{Floor}\left(\frac{R_{e20}}{1.1}, 0.5\right)$$

$$\sigma_{и} = 272.5 \text{ МПа}$$

В соответствии с рекомендацией ГОСТ 34233.1-2007 Таблица А.3, примем:

$\sigma_{20} :=$ МПа-для стали 09Г2С при температуре $t - ^\circ\text{C}$

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20}$$

Примем за расчетное давление наибольшее значение давления в аппарате

$$P_p := P$$

Пробное давление при гидравлических испытаниях, МПа

$$P_{пр} := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д}}$$

$$P_{пр} = 2.627 \text{ МПа}$$

3.1.3 Расчет толщины стенок цилиндрической части аппарата

Цель расчета: Обеспечение условия прочности.

В соответствии с [17 с.113] и исполнительную толщину стенки цилиндрического элемента обечайки, рассчитаем по формуле

$$S \geq S_p + c$$

Инва. № дубл.	Инва. № инв. №	Подп. и дата
Инва. № подп	Подп. и дата	
Ли	Изм.	№ докум.
		Подп.
		Дат

где, S_p - расчетная толщина стенки цилиндрической части колонны.

Прибавку к расчетным толщинам вычисляем по формуле, [17 с.113], мм:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

где c_1 – поправка на коррозию;

c_2 = поправка на минусовое отклонение;

c_3 – поправка на утонение стенки элемента сосуда при технических операциях;

Прибавки к расчетной толщине стенки, мм:

$c_k := P \cdot t_{в}$ для компенсации коррозии центральной обечайки

$$C_k = 0.9 \text{ мм}$$

Прибавку к расчетной толщине для компенсации эрозии, примем:

$$C_э := 0$$

Т.к. согласно рекомендациям [17,с.19], и исходным данным отсутствует высокие скорости среды (для газа более 100 м/с), отсутствуют абразивные частицы и ударное действие среды.

$$C_1 := C_k + C_э$$

$$C_1 = 0.9$$

В соответствии с рекомендацией [18 ,с. 211] минимальная толщина стенок корпуса колонного аппарата при диаметре 3000 мм, должна составлять не менее 14 мм. В соответствии с таблицей 4., ГОСТ 19903-74 примем:

$$C_2 := 0.8$$

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки ректификационной колонны, не происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией ГОСТ 34233.1-2007 примем:

$$C_3 := 0 \quad c := C_1 + C_2 + C_3$$

$$C = 1.7 \text{ мм}$$

Примем: $c := 2 \text{ мм}$

Коэффициент прочности продольных сварочных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, по таблицы Д.1. ГОСТ 34233.1-2007, в соответствии с рекомендацией [17 с.252]:

$$\phi_p := 1$$

Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки в соответствии с ГОСТ 34233.2-2007 [19]:

$$s_p := \max \left(P_p \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_d - P_p}, P_{пр} \cdot \frac{D}{1.8 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{II} - P_{пр}} \right)$$

$$s_p = 16.173$$

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок

$$s_{\text{исп}} := \text{Ceil}(s_p + c, 0.5) \quad s = 18.5 \quad \text{м}$$

Принимаем за толщину обечайки корпуса толщину стенки, рассчитанную из условия прочности с учетом прибавки на коррозию, округленную до ближайшего стандартного значения [13]

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$s := 22 \quad \text{м}$$

$$D_B := D + 2 \cdot s$$

$$D_B = 3.044 \times 10^3 \quad \text{м}$$

Проверка условия прочности

$$P_d := \frac{[2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p \cdot (s - c)]}{D + (s - c)}$$

$$P_d = 2.47 \quad \text{МПа} \qquad P_p = 2 \quad \text{МПа}$$

$$P_{ди} := \frac{[1.8 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p \cdot (s - c)]}{D + (s - c)}$$

$$P_{ди} = 3.248 \quad \text{МПа} \qquad P_{пр} = 2.627 \quad \text{МПа}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Проверка}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмомент. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s - c}{D} > 0.1 \end{cases}$$

Проверка₁ = "Условия применения формул безмомент. теории выполняются"

Проверка условия прочности

$$\text{prov}_1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \begin{cases} \frac{P_p}{P_d} \leq 1 \\ \frac{P_{пр}}{P_{ди}} \leq 1 \end{cases} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

prov₁ = "Условие прочности выполняется"

Вывод: Принимаем толщину стенки аппарата при выполнении условия прочности – 22 мм. Проверка условий устойчивости.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

3.1.4 Расчет цилиндрической обечайки на устойчивость

В рабочих условиях

Коэффициент запаса устойчивости, примем в соответствии с рекомендациями ГОСТ 34233.1-2007 [16], для рабочих условий:

$$n_y := 2.4$$

Допускаемое давление из условия прочности рассчитывается в соответствии с рекомендациями [1, с.253.], МПа:

$$P_{\text{дп}} := 2 \cdot (\sigma_{\text{д}}) \cdot \frac{(s - c)}{D + s - c} \quad P_{\text{дп}} = 2.47 \text{ МПа}$$

Осевое сжимающее усилие от давления на днище

$$F_{\text{дп}} := 0.25 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D^2) \cdot P = 14.137 \text{ МН}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности

$$F_{\text{дп}} := \pi 10^{-3} (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\text{д}} \quad F_{\text{дп}} = 3.539 \times 10^4 \text{ МН}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условия устойчивости. При расчетной схеме:

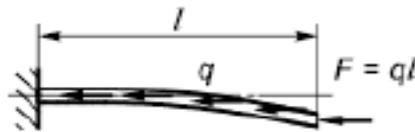


Рисунок 5 – Расчетная схема определения приведенной расчетной длины

$$l_{\text{пр}} := 1.12l$$

Гибкость

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot l_{\text{тр}}}{D + s - c} \quad \lambda = 61.926$$

$$F_{dE} := \begin{cases} \text{if } \frac{H}{D} \geq 10 \\ \left. \begin{aligned} F_{dE1} &\leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s-c)}{D} \right]^{2.5} \\ F_{dE2} &\leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{\pi 10^{-3} \cdot (D+s-c) \cdot (s-c) \cdot E}{n_y} \\ F_{dE} &\leftarrow \min(F_{dE1}, F_{dE2}) \end{aligned} \right\} \\ F_{dE} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s-c)}{D} \right]^{2.5} \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{dE} = 82.262 \quad \text{МН}$$

$$F_d := \frac{F_{dн}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{dн}}{F_{dE}} \right)^2}} \quad F_d = 82.262 \quad \text{МН}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{prov}_2 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P}{P_d} + \frac{F}{F_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

prov_2 = "Условие устойчивости выполняется"

$$\frac{P}{P_d} + \frac{F}{F_d} = 0.982$$

В условиях испытаний

Коэффициент запаса:

$$n_y := 1.8$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Инв. № инв.	Лист
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212001 ПЗ	

$$P_{\text{дпн}} := 2 \cdot (\sigma_{\text{и}}) \cdot \frac{(s - c)}{D + 0.5(s - c)} = 3.621$$

Исполнительная толщина стенки ректификационной колонны обеспечивает прочность сосуда в заданных эксплуатационных условиях, как в рабочих так и в условиях испытаний, т.к. рабочее, давление меньше рассчитанного допустимого давления при заданной толщине стенки.

Осевое сжимающие усилие от давления, МН:

$$F_{\text{и}} := 0.25 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D^2) \cdot P_{\text{пр}} = 18.572 \text{ МН}$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие в пределах упругости из условия устойчивости:

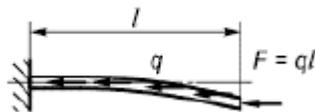


Рисунок 6 – Расчетная схема определения приведенной расчетной длины

$$l_{\text{пр}} := 1.12l$$

Гибкость

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot l_{\text{пр}}}{D + s - c} \quad \lambda = 61.926$$

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. име. №
Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$F_{идE} := \begin{cases} \text{if } \frac{H}{D} \geq 10 \\ \left. \begin{aligned} F_{дE1} &\leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E_{20}}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s-c)}{D} \right]^{2.5} \\ F_{дE2} &\leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{\pi 10^{-3} \cdot (D+s-c) \cdot (s-c) \cdot E_{20}}{n_y} \end{aligned} \right\} \\ F_{идE} &\leftarrow \min(F_{дE1}, F_{дE2}) \\ \text{otherwise} \\ F_{дE} &\leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s-c)}{D} \right]^{2.5} \end{cases}$$

$$F_{идE} = 111.933 \quad \text{МН}$$

$$F_{дд} := \frac{F_{дд}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{дд}}{F_{идE}} \right)^2}} \quad F_{д} = 111.932 \quad \text{МН}$$

Проверка условия устойчивости:

$$prov_2 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_{пр}}{P_{дпи}} + \frac{F_{и}}{F_{д}} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

prov_2 = "Условие устойчивости выполняется"

Выбор листового проката металла

Расчет необходимой длины листового проката ,мм:

$$b := \pi \cdot D$$

$$b = 1.005 \times 10^4 \text{ мм}$$

В соответствии с ГОСТ 19903-74 [20], таблица 1 производим изготовление центральной обечайки при толщине листового проката 22 мм из 24 листовых прокатов размерами 10000x2800 мм длины на ширину соответственно.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

56

Изготовление и сварка детали

Цилиндрическую часть обечайки, изготавливаем сваркой из отдельных листовых прокатов, в соответствии с рекомендацией ГОСТ 34233.1-2007 [16].

Стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%.

Сварку проводим с последующей проверкой качества швов внешним осмотром, ультразвуковой дефектоскопией в соответствии с рекомендацией ГОСТ 34233.1-2007 [16].

Выбор исполнительного типа крышки и днища

В соответствии с рекомендацией [21, с.439], о целесообразности использования эллиптической формы днища и крышки в вертикальных аппаратах колонного типа, с точки зрения восприятия давления столба жидкости в качестве исполнительного типа крышки и днища выбираем эллиптическую форму отличающуюся выгодными технико-экономическими показателями. Эллиптические днища изготавливают горячей штамповкой и могут применяться в аппаратах работающих под избыточным давлением до 10 МПа.

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подп	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

57

3.2. Расчет толщины стенки эллиптической крышки и днища

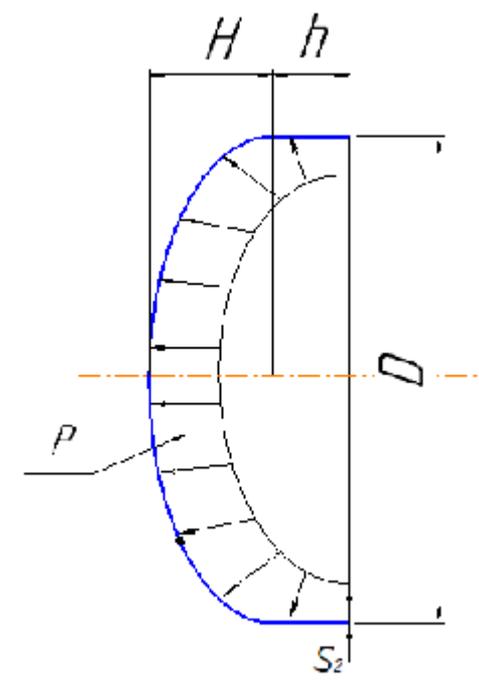


Рисунок 7 – Расчетная схема эллиптической крышки

Цель расчета толщины эллиптической крышки – определение минимальной толщины, при которой крышка выдержит данное давление в рабочих условиях и условиях испытания.

Список обозначений:

Глубина крышки, м	H
Радиус кривизны стандартной эллиптической крышки, м	R
Внутренний диаметр аппарата, м	D_B
Расчетная толщина стенки крышки, м	$S_{кр}$
Давление в трубном пространстве в рабочих условиях, МПа	P_2
Давление в трубном пространстве аппарата при гидравлических испытаниях, МПа	P_I
Коэффициент прочности сварных швов	ϕ_P

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Допускаемое напряжение в рабочих условиях, МПа	σ
Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях, МПа	$\sigma_{И}$
Исполнительная толщина стенки крышки, м	S_2
Прибавка на коррозию к толщине стенки, м	c
Допускаемое давление в рабочих условиях, МПа	P_D
Допускаемое давление в условиях испытания, МПа	$P_{ДИ}$

Глубина крышки:

$$H := 0.25 \cdot D$$

$$H = 750 \text{ м}$$

Радиус кривизны стандартной эллиптической крышки

$$R := D$$

$$R = 3 \times 10^3 \text{ м}$$

Расчетная толщина стенки эллиптической крышки

$$s_{кр} := \max \left(\frac{P_p \cdot R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma - 0.5 \cdot P_p}, \frac{P_{пр} \cdot R}{1.8 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{И} - 0.5 \cdot P_{пр}} \right) + c$$

$$s_{кр} = 18.129 \text{ м}$$

Примем крышку эллиптическую с толщиной стенки равной [14]

$$s_{э2} := 22 \text{ м}$$

Условие применимости формул расчета производится в соответствии :

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Проверка условия применяемости формул:

$$\text{prov}_2 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_{э2} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

prov_2 = "Условие выполняется"

Проверка условия прочности

$$P_{дв} := \frac{[2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi_p \cdot (s_{э2} - c)]}{R + 0.5(s_{э2} - c)}$$

$P_{д} = 2.478 \text{ МПа}$

$$P_{ди} := \frac{[1.8 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p \cdot (s_{э2} - c)]}{R + (s_{э2} - c)}$$

$P_{ди} = 3.248 \text{ МПа}$

Проверка условия прочности

$$\text{prov}_1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \begin{cases} \frac{P_p}{P_{д}} \leq 1 \\ \frac{P_{пр}}{P_{ди}} \leq 1 \end{cases} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

prov_1 = "Условие прочности выполняется"

3.3 Расчет штуцеров

Обеспечению герметичного соединения трубопроводов с эксплуатируемыми аппаратами призваны штуцера. В качестве исполнительного типа штуцера выбираем штуцера тип 1 исполнение 6 по АТК 24.218.06-90 используемые на условное давление от 1,6 МПа до 16 МПа и температуре от минус 70 до 600 °С, штуцера с фланцами стальными приварными встык [26].

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

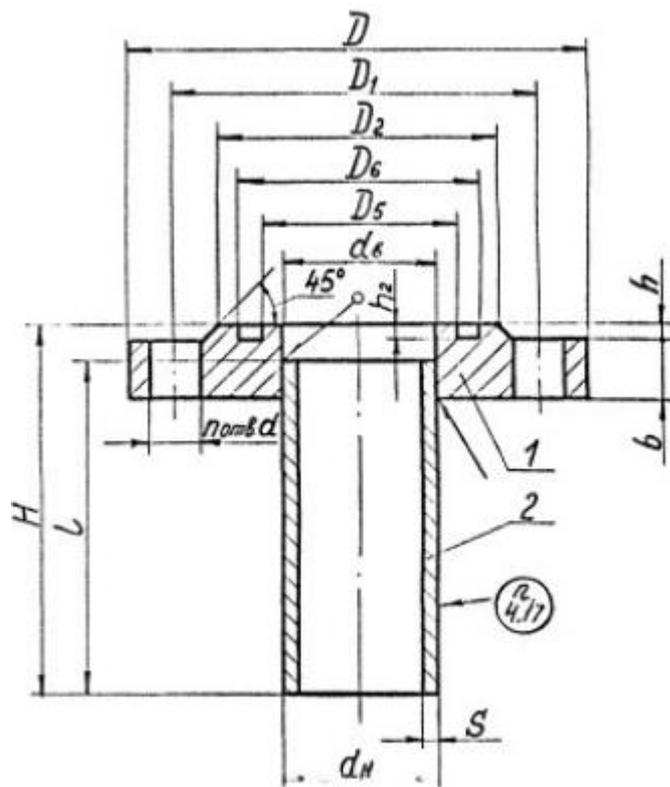


Рисунок 8. Штуцер тип 1 исполнение 6 по АТК 24.218.06-90[26],

1 – фланец по ГОСТ 12820; 2 – патрубок.

В качестве исполнительного типа фланца выбираем фланец на условное давление 1,6 - 2,5 МПа по ГОСТ 12820 [27].

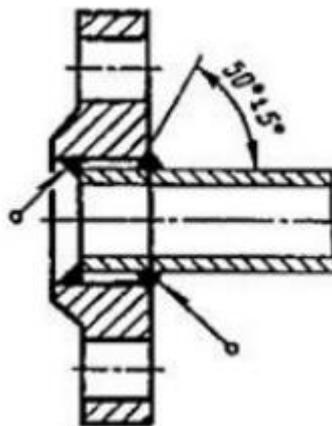


Рисунок 9. Фланец плоский стальной приварной в стык по ГОСТ 12820 [27].

В технологическом расчете были посчитаны скорости и выбраны диаметры штуцеров.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Диаметр штуцера подачи исходной смеси:

$$D_1=150 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера подачи флегмы

$$D_2=250 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера для подачи паров кубовой смеси:

$$D_4=400 \text{ мм}$$

Диаметр отвода кубового остатка:

$$D_5=50 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера отвода паров дистиллята :

$$D_6=500 \text{ мм}$$

Таблица 4. Исполнительные размеры выбранных штуцеров по АТК 24.218.06-90 [26]

D_y	d_B	D	D_1	D_2	b	h	d	n
50	59	160	125	102	21	3	18	4
150	161	300	250	212	27	3	26	8
250	276	425	370	335	31	3	30	12
400	429	610	550	505	40	4	33	16
500	534	730	660	615	48	4	39	20

Подбираем соответствующие плоские приварные фланцы в стык из приведенных стандартных значений в таблице 1 ГОСТ 12820-80.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

62

3.4 Расчет укрепления отверстий (таблица штуцеров, рис.)

Расчет укреплений отверстий производим в соответствии с нормами ГОСТ 24755-81 [29].

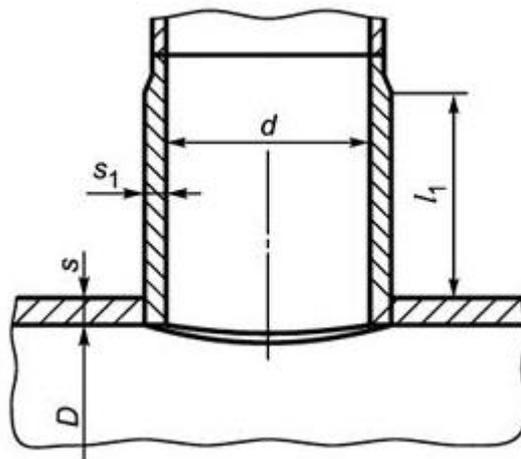


Рисунок 10- схема укрепления отверстия

3.4.1. Расчет укрепления отверстий цилиндрической обечайки

В центральной обечайке необходимо предусмотреть 4 отверстия под люк-лазы диаметром 450 мм. Кроме того, необходимы отверстия под штуцер ввода исходной смеси 150 мм; штуцер ввода паров кубовой смеси 400 мм; штуцер ввода флегмы. 250 мм; Произведем расчет в соответствии с нормами ГОСТ 24755-81 однократно распространив полученные конструктивные решения на все проверяемые отверстия данного диаметра [29].

Укрепление отверстия штуцера подачи исходной смеси

Диаметр отверстия под штуцер исходной смеси $D_1 := 150$

Допускаемое напряжение для материала при расчетной температуре

$$\sigma := p \sigma$$

Ине. № дубл.	Ине. № инв.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Ине. № подп			

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре

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

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре

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

Расчетный диаметр оболочки

$$D_p := D$$

$$D_p = 3 \times 10^3 \text{ м}$$

Расчетный диаметр отверстия под штуцер в стенке крышки:

$$d_{p1} := D_1 + 2 \cdot c$$

$$d_{p1} = 154 \text{ м}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$U_{s1} := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d_{p1} - 2 \cdot c)}{D} > 0.1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{s1} = \text{"условия применения формул выполняется"}$

Расчетная толщина стенки штуцера с круглым поперечным сечением:

$$s_{1p} := \max \left(\frac{P_p \cdot d_{p1}}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P_p}, \frac{P_{пр} \cdot d_{p1}}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p - P_{пр}} \right) = 0.83 \quad \text{мм}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Исполнительная толщина стенки штуцера

$$s_{1\text{шт}} := s_{1p} + c = 2.83$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления

$$d_{\text{оп}} := \min \left[2 \cdot \left[\left(\frac{s-c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)}, D + 2 \cdot c \right]$$

$$d_{\text{оп}} = 213.922 \text{ м}$$

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } (d_{\text{оп}}) \geq D_1 \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov}' = \text{"условие укрепления выполняется"}$$

3.4.2 Укрепление отверстия под штуцер подачи флегмы

Диаметр отверстия под штуцер подачи флегмы $D_2 := 250 \text{ м}$

Допускаемое напряжения для материала при расчетной температуре

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

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре

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

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре

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

Расчетный диаметр оболочки

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$D_p := D$$

$$D_p = 3 \times 10^3 \text{ м}$$

Расчетный диаметр отверстия под штуцером в стенке крышки

$$d_{p2} := D_2 + 2 \cdot c$$

$$d_{p2} = 254 \text{ м}$$

Проверка условий применение формул для расчета укрепления отверстий:

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d_{p2} - 2 \cdot c)}{D} > 0.1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

U_{SL} = “условия применения формул выполняется”

Расчетная толщина стенки штуцера с круглыми поперечным сечением

$$s_{2p} := \max \left(\frac{P_p \cdot d_{p2}}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P_p}, \frac{P_{пр} \cdot d_{p2}}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p - P_{пр}} \right) = 1.369$$

$$s_{2иш} := s_{2p} + c = 3.369$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления

$$d_{op} := \left[2 \cdot \left[\frac{(s - c)}{s_p} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \right]$$

$$d_{op} = 213.92 \text{ м}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } (d_{\text{оп}}) \geq D_2 \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov' = “условие укрепления НЕ выполняется”

В соответствии с ГОСТ 24755-89: рекомендуемым вариантом укрепления является укрепление без использования накладного кольца. В соответствии с рекомендацией [30, с. 181] наиболее рациональным и предпочтительным способом укрепления отверстий является укрепление патрубком штуцера. В связи с чем производим укрепление отверстий патрубком, увеличивая толщину стенки патрубка, минимально необходимую величину которого рассчитаем в соответствии с уравнением (при известной толщине стенки штуцера):

$$s_{\text{штуц}} \geq \frac{s_{\text{штуц,р}}}{V_{\text{ш}}}$$

$$S_{\text{штуц,р}} := 22 \text{ мм}$$

Примем в соответствии с рекомендацией ГОСТ 24755-89 расчетные коэффициенты равными [31];

$$K_1 := 1$$

$$K_2 := 1$$

Поскольку исполнительная марка стали патрубка и цилиндрической обечайки одинакова, примем расчетный коэффициент - отношение допускаемых напряжений равным:

$$x_1 := 1$$

Примем коэффициент прочности продольного сварного соединения штуцера, при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двухсторонним сплошным проваром при

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

67

длине контролируемых швов 100% по таблице Д.1. ГОСТ 34233.1-2007 [16].

$$\phi_1 := 1$$

В соответствии с ГОСТ 24755-89 расчетные параметры для варианта укрепления отверстия штуцером:

$$K_{\text{п}} := \frac{D_2}{D_p} \cdot \sqrt{K_1 \cdot \phi_p \cdot \frac{\sigma_d}{P_p}} = 0.805$$

$$K_p := \frac{K_2}{4 \sqrt{\chi_1}} \left(\frac{\phi_p}{\phi_1} \right) \cdot \frac{D_2 + 2 \cdot c}{D_p} = 0.085$$

$$V := \frac{s_p}{(s - c)} = 0.809$$

Примем расчетные коэффициент $V_{\text{ш}}$ в соответствии с номограммами (чертеж 1-3) и таблицей 2, ГОСТ 24755-89 [31]:

$$V_{\text{ш}} := 0.9$$

Тогда в соответствии с рекомендацией ГОСТ 24755-89 минимальная толщина укрепления штуцера рассчитывается в соответствии с условием [31]:

$$s_{\text{шт}2} := \frac{s_{\text{шт}1}}{V_{\text{ш}}} = 24.444$$

$$l_1 := 300 \quad s_1 := 25$$

$$l_3 := 50 \quad s_3 := 25$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{\text{п}} := \min \left[l_1, 1.25 \sqrt{(D_2 - s_1 + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right]$$

$$l_{\text{п}} = 90.718 \quad \text{мм}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$l_{3p} := \min \left[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(D_2 - s_3 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - c)} \right]$$

$$l_{3p} = 36.287 \quad \text{мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)}$$

$$l_p = 244.949 \quad \text{мм}$$

Отношения допускаемых напряжений: для внешней части штуцера

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

Для накладного кольца:

$$\chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d} \right) = 1$$

Для внутренней части штуцера

$$\chi_3 := \min \left(1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_3 = 1$$

Проверка условия укрепления одиночного отверстия

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Инд. № инв.	Подп. и дата
Инд. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

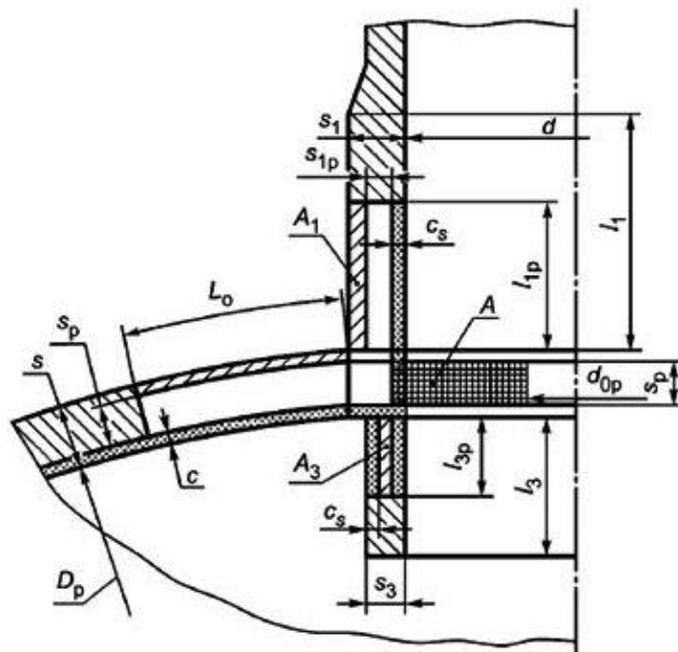


Рисунок 9 – Укрепление отверстия шуцером

$$A_1 := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c) \cdot \chi_1 = 2.011 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$A_3 := l_{3p} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 762.028 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{p.c} := l_p \cdot (s - s_{1p} - c) = 4.696 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$A_p := 0.5(d_{p2} - d_{op}) \cdot s_p = 324.08 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Summa} := A_1 \cdot \chi_1 + A_3 \cdot \chi_3 + A_{p.c} = 7.469 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if Summa} \geq A_p \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov' = "условие укрепления выполняется"

3.4.3 Расчет укрепление отверстия под люк-лаз

Диаметр отверстия под люк-лаз: $d_3 := 450 \text{ м}$

Допускаемое напряжение для материала при расчетной температуре

$$\sigma_d := \sigma$$

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Инв. № подл

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре

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

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре

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

Расчетный диаметр оболочки

$$D_p := D$$

$$D_p = 3 \times 10^3 \text{ м}$$

Расчетный диаметр отверстия под штуцер в стенке крышки:

$$d_p := D_3 + 2 \cdot c$$

$$d_p = 454 \text{ м}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$Usl := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl = \text{"условия применения формул выполняется"}$$

Расчетная толщина стенки штуцера с круглым поперечным сечением:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$s_{3p} := \max \left(\frac{P_p \cdot d_p}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P_p}, \frac{P_{пр} \cdot d_p}{2 \sigma_{и} \cdot \phi_p - P_{пр}} \right) = 2.447$$

$$s_{3иш} := s_{3p} + c = 4.447$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления

$$d_{оп} := \min \left[2 \cdot \left[\frac{(s - c)}{s_p} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \right]$$

$$D_{оп} = 213.922 \text{ м}$$

$$Prov' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } (d_{оп}) \geq D_3 \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Prov' = \text{"условие укрепления НЕ выполняется"}$$

В соответствии с ГОСТ 24755-89: рекомендуемым вариантом укрепления является укрепление без использования накладного кольца. В соответствии с рекомендацией [30, с. 181] наиболее рациональным и предпочтительным способом укрепления отверстий является укрепление патрубком штуцера. В связи с чем производим укрепление отверстий патрубком, увеличивая толщину стенки патрубка, минимально необходимую величину которого рассчитаем в соответствии с уравнением (при известной толщине стенки штуцера):

$$s_{штуц} \geq \frac{s_{штуц,р}}{V_{ш}}$$

$$s_{штуц,р} := 22 \text{ мм}$$

Примем в соответствии с рекомендацией ГОСТ 24755-89 расчетные коэффициенты равными [31];

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$K_1 := 1$$

$$K_2 := 1$$

Поскольку исполнительная марка стали патрубка и цилиндрической обечайки одинакова, примем расчетный коэффициент - отношение допускаемых напряжений равным:

$$x_1 := 1$$

Примем коэффициент прочности продольного сварного соединения штуцера, при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двухсторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100% по таблице Д.1. ГОСТ 34233.1-2007 [16].

$$\phi_1 := 1$$

В соответствии с ГОСТ 24755-89 расчетные параметры для варианта укрепления отверстия штуцером:

$$K := \frac{D_3}{D_p} \cdot \sqrt{K_1 \cdot \phi_p \cdot \frac{\sigma_d}{P_p}} = 1.448$$

$$K_{pw} := \frac{K_2}{4 \sqrt{x_1}} \left(\frac{\phi_p}{\phi_1} \right) \cdot \frac{D_3 + 2 \cdot c}{D_p} = 0.151$$

$$V := \frac{s_p}{(s - c)} = 0.809$$

Примем расчетные коэффициент $V_{ш}$ в соответствии с номограммами (чертеж 1-3) и таблицей 2, ГОСТ 24755-89 [31]:

$$V_{ш} := 0.8$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Тогда в соответствии с рекомендацией ГОСТ 24755-89 минимальная толщина укрепления штуцера рассчитывается в соответствии с условием [31]:

$$s_{шт3} := \frac{s_{шт3p}}{V_{шт}} = 27.5$$

$$l_1 := 300 \quad s_1 := 28$$

$$l_2 := 50 \quad s_2 := 28$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[l_1, 1.25 \sqrt{(D_3 - s_1 + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right]$$

$$l_{1p} = 131.553 \quad \text{мм}$$

$$l_{2p} := \min \left[l_2, 0.5 \cdot \sqrt{(D_3 - s_3 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - c)} \right]$$

$$l_{2p} = 50 \quad \text{мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)}$$

$$l_p = 244.949 \quad \text{мм}$$

Отношения допускаемых напряжений: для внешней части штуцера

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

Для накладного кольца:

$$\chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d} \right) = 1$$

Для внутренней части штуцера

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_3 = 1$$

Проверка условия укрепления одиночного отверстия

$$A_{1w} := l_p \cdot (s_1 - s_{1p} - c) \cdot \chi_1 = 3.311 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{2w} := l_{3p} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 1.2 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{p.c.} := l_p \cdot (s - s_{1p} - c) = 4.696 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{p.w} := 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 1.941 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Summa} := A_1 \cdot \chi_1 + A_3 \cdot \chi_3 + A_{p.c} = 9.207 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if Summa} \geq A_p \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov' = "условие укрепления выполняется"

3.4.4 Расчет укрепление отверстия под штуцер подачи паров кубовой смеси

Диаметр отверстия под штуцер подачи кубовой смеси $D_4 := 400$

Допускаемое напряжение для материала при расчетной температуре

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

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре

$$\sigma_{d12} := \sigma$$

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре

$$\sigma_{d12} := \sigma$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Расчетный диаметр оболочки

$$D_p := D$$

$$D_p = 3 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия под штуцер в стенке крышки:

$$d_p := D_4 + 2 \cdot c$$

$$d_p = 404 \text{ мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$Us1 := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1 = \text{"условия применения формул выполняется"}$$

Расчетная толщина стенки штуцера с круглым поперечным сечением:

$$s_{4p} := \max \left(\frac{P_p \cdot d_p}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P_p}, \frac{P_{пp} \cdot d_p}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p - P_{пp}} \right) = 2.178 \quad \text{м}$$

$$s_{4иш} := s_{4p} + c$$

$$s_{4иш} := 0.012$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления

$$d_{оп} := \left[2 \cdot \left[\frac{(s - c)}{s_p} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \right]$$

$$d_{оп} = 213.92 \text{ м}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } (d_{\text{оп}}) \geq D_4 \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prov}' = \text{"условие укрепления НЕ выполняется"}$$

В соответствии с ГОСТ 24755-89: рекомендуемым вариантом укрепления является укрепление без использования накладного кольца. В соответствии с рекомендацией [30, с. 181] наиболее рациональным и предпочтительным способом укрепления отверстий является укрепление патрубком штуцера. В связи с чем производим укрепление отверстий патрубком, увеличивая толщину стенки патрубка, минимально необходимую величину которого рассчитаем в соответствии с уравнением (при известной толщине стенки штуцера):

$$s_{\text{штуц}} \geq \frac{S_{\text{штуц,р}}}{V_{\text{ш}}}$$

$$S_{\text{штуц,р}} := 22 \text{ мм}$$

Примем в соответствии с рекомендацией ГОСТ 24755-89 расчетные коэффициенты равными [31];

$$K_1 := 1$$

$$K_2 := 1$$

Поскольку исполнительная марка стали патрубка и цилиндрической обечайки одинакова, примем расчетный коэффициент - отношение допускаемых напряжений равным:

$$x_1 := 1$$

Примем коэффициент прочности продольного сварного соединения штуцера, при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двухсторонним сплошным проваром при

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. инв. №
Име. № инв.	Подп. и дата
Име. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

длине контролируемых швов 100% по таблице Д.1. ГОСТ 34233.1-2007 [16].

$$\phi_1 := 1$$

В соответствии с ГОСТ 24755-89 расчетные параметры для варианта укрепления отверстия штуцером:

$$K_{\text{ш}} := \frac{D_4}{D_p} \cdot \sqrt{K_1 \cdot \phi_p \cdot \frac{\sigma_D}{P_p}} = 1.288$$

$$K_{\text{шр}} := \frac{K_2}{4 \sqrt{\chi_1}} \left(\frac{\phi_p}{\phi_1} \right) \cdot \frac{D_4 + 2 \cdot c}{D_p} = 0.135$$

$$V_{\text{ш}} := \frac{s_p}{(s - c)} = 0.809$$

Примем расчетные коэффициент $V_{\text{ш}}$ в соответствии с номограммами (чертеж 1-3) и таблицей 2, ГОСТ 24755-89 [31]:

$$V_{\text{ш}} := 0.9$$

Тогда в соответствии с рекомендацией ГОСТ 24755-89 минимальная толщина укрепления штуцера рассчитывается в соответствии с условием [31]:

$$s_{\text{шт}3\text{р}} := \frac{s_{\text{шт}3\text{р}}}{V_{\text{ш}}} = 24.444$$

$$l_1 := 300 \quad s_1 := 25$$

$$l_2 := 50 \quad s_2 := 25$$

Расчетные длины штуцеров:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$l_{1p} := \min \left[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(D_3 - s_1 + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right]$$

$$l_{1p} = 124.166 \quad \text{мм}$$

$$l_{3p} := \min \left[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(D_3 - s_3 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - c)} \right]$$

$$l_{3p} = 49.666 \quad \text{мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)}$$

$$l_p = 244.949 \quad \text{мм}$$

Отношения допускаемых напряжений: для внешней части штуцера

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

Для накладного кольца:

$$\chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d} \right) = 1$$

Для внутренней части штуцера

$$\chi_3 := \min \left(1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_3 = 1$$

Проверка условия укрепления одиночного отверстия

$$A_1 := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c) \cdot \chi_1 = 2.753 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$A_2 := l_{3p} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 1.043 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{p.c} := l_p \cdot (s - s_{1p} - c) = 4.696 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 1.537 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Summa} := A_1 \cdot \chi_1 + A_3 \cdot \chi_3 + A_{p.c} = 8.491 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. инв. №
Име. № инв.	Подп. и дата
Име. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } \text{Summa} \geq A_p \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov' = "условие укрепления выполняется"

3.4.5 Расчет укрепление отверстий в эллиптических днище и крышке

В эллиптическом днище аппарат необходимо предусмотреть одно отверстие для ввода кубовой смеси в теплообменник для обогрева, диаметром 50 мм. В крышке необходимо предусмотреть одно отверстие для вывода паров дистиллята диаметром 500 мм. Произведем расчет в соответствии с нормами ГОСТ 24755-81 однократно распространив полученные конструктивные решения на все проверяемые отверстия данного диаметра [29].

Диаметр отверстия, мм $D_5 := 50$

Расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси $x := 0$ м

Допускаемое напряжение для материала при расчетной температуре

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

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре

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

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре

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

Расчетный диаметр оболочки

$$D_{np} := 2D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D}\right)^2}$$

$$D_p = 6 \times 10^3 \text{ мм}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Расчетный диаметр отверстия под штуцер в стенке крышки:

$$d_{p2} := D_5 + 2 \cdot c$$

$$d_p = 54 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$Usl := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.6 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s_{32} - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "условия применения формул выполняется"

Расчетная толщина стенки штуцера с круглым поперечным сечением:

$$s_{5p} := \max \left(\frac{P_p \cdot d_{p2}}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P_p}, \frac{P_{пп} \cdot d_{p2}}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p - P_{пп}} \right) = 1.369$$

$$s_{5иш} := s_{1p} + c = 2.83$$

$$s_{5мин} := 0.004$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(D_5 - s_1 + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right]$$

$$l_{1p} = 32.283 \quad \text{мм}$$

$$l_{2p} := \min \left[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(D_5 - s_3 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - c)} \right]$$

$$l_{2p} = 12.913 \quad \text{мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления

$$l_{pw} := \sqrt{D_p \cdot (s_{32} - c)}$$

$$l_p = 346.41 \quad \text{мм}$$

Отношения допускаемых напряжений: для внешней части штуцера

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\chi_1 := \min \left(1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_1 = 1$$

Для внутренней части штуцера

$$\chi_2 := \min \left(1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_3 = 1$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления

$$d_{op} := \min \left[2 \cdot \left[\frac{(s_{э2} - c)}{s_{1p}} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_{э2} - c)}, D + 2 \cdot c \right]$$

$$d_{op} = 3.004 \times 10^{-3}$$

$$Prov' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } (d_{op}) \geq D_5 \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Prov' = \text{"условие укрепления выполняется"}$$

3.4.6 Расчет укрепление отверстия под штуцер отвода паров дистиллята

Диаметр отверстия под штуцер отвода паров дистиллята, мм :

$$D_6 := 500$$

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси, мм $x := 0$

Допускаемые напряжения для материала накладного кольца при расчетной температуре, МПа

$$\sigma_{d1} := \sigma_d \quad \sigma_{d4} := \sigma_d$$

$$\sigma_{d2} := \sigma_d \quad \sigma_{d5} := \sigma_d$$

$$\sigma_{d3} := \sigma_d \quad \sigma_{d6} := \sigma_d$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Расчетный диаметр оболочки, мм:

$$D_p := 2D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D}\right)^2}$$
$$D_p = 6 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия под штуцер в стенке крышки:

$$d_p := D_6 + 2 \cdot c$$
$$d_p = 504 \text{ мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.6 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s_{э2} - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl} = \text{"условия применения формул выполняется"}$$

Расчетная толщина стенки штуцера, с круглым поперечным сечением

мм:

$$s_{6p} := \max \left(\frac{P_p \cdot d_{p2}}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P_p}, \frac{P_{пп} \cdot d_{p2}}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p - P_{пп}} \right) = 1.369$$

$$S_{6иш} := s_{6p} + c = 3.369$$

Отношения допускаемых напряжений: для внешней части штуцера

$$\chi_1 := \min \left(1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_1 = 1$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Для внутренней части штуцера

$$\chi_{d3} := \min \left(1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_3 = 1$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления, мм:

$$d_{op} := \min \left[2 \cdot \left[\frac{(s_{э2} - c)}{s_{1p}} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_{э2} - c)}, 0.6 \cdot D + 2 \cdot c \right]$$

$$d_{op} = 1.804 \times m^3$$

$$Prov' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } (d_{op}) \geq D_6 \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Prov' = \text{"условие укрепления выполняется"}$$

3.5 Расчет фланцев

В соответствии с рекомендацией [17, с.86] в качестве исполнительного типа фланца выбираем плоский фланец приварной встык по ГОСТ 12820, в соответствии с рекомендацией ГОСТ 34233.4-2017 для значений давления от 1,6 до 6,3 МПа рекомендуется применение фланца с уплотнительной поверхностью типа "выступ-впадина", фланец изолированного типа [32].

В соответствии с рекомендацией [5, с.211] во фланцевых соединениях при значениях расчетного давления менее 4 МПа и расчетной температуре менее 300 °С предпочтительно использование болтового соединения к соединению шпилькой.

В качестве исполнительного материала фланцев в целях предотвращения развития коррозионных процессов выбираем сталь той же

Инв. № подл	Подп. и дата			
	Взам. инв. №			
	Инв. № дубл.			
	Подп. и дата			
<p>ФЮРА.066212.001 ПЗ</p>				
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
				Лист 84

марки что и корпус корпус колонны - сталь 09Г2С в соответствии с рекомендацией СТО 0041-2004 [33].

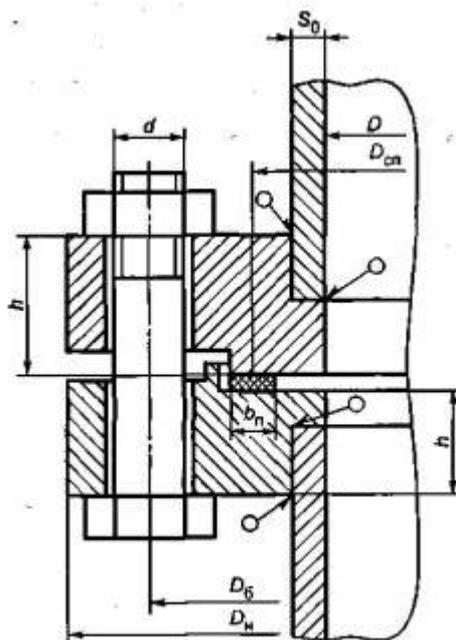


Рисунок- фланцевое соединение с уплотнительной поверхностью типа выступ -впадина

В качестве материалов болтов в соответствии с СТО 0041-2004 рекомендовано использовать сталь 35Х исполнением, а так же гайки высокопрочные и шайбы по ГОСТ 22353-77 и ГОСТ 22356-77 соответственно [34, 35].

В качестве исполнительного материала прокладки в соответствии с рекомендацией [30, с. 261] и ОСТ 26-373-78 [36], поскольку проектируемый аппарат размещается на открытой площадке выбираем поранит с температурой эксплуатации от -200 до 400 °С. В соответствии с ГОСТ 481-80 для рабочей среды: сжиженные и газообразные углеводороды С1-С3 необходимо использовать паронит маслобензостойкий - ПМБ и температуре эксплуатации от -40 до +100 °С. В соответствии с рекомендацией таблица 2, ГОСТ 481-80 примем эффективную толщину плоской прокладки ПБМ равной [37]:

Ине. № дубл.	Ине. № инв. №	Подп. и дата
Ине. № подп		

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

$$b_{\Pi} = 3 \text{ мм}$$

Примем расчетный параметр b_s равным 1 поскольку используем болты ангайки:

$$b_s = 1$$

Основные расчетные параметры:

- 1) Расчетная температура неизолированных плоских фланцев

$$t := t_{\text{PT}}$$

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t \quad t_{\phi} = 57.6 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Расчетная температура болтов :

$$t_{\text{б}} := 0.95 \cdot t \quad t_{\text{б}} = 57 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

- 2) Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х

В рабочем состоянии

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma_{\text{д.б}} := \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma_{\text{д.б}}, t_{\text{PT}}), 0.1)$$

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

При 20 °С допускаемое напряжение для болтов:

$$\sigma_{20\text{б}} = 230 \text{ МПа}$$

- 3) Модуль упругости для болтов при рабочей температуре:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E_{\text{б}} := \begin{pmatrix} 2.18 \cdot 10^5 \\ 2.15 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_{\text{б}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, E_{\text{б}}, t_{\text{PT}}), 0.1)$$

$$E_{\text{б}} = 2.165 \times 10^5 \text{ МПа}$$

При 20 °С при испытании

$$E_{20\text{б}} := 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

- 4) Коэффициент линейного расширения стали 35Х при $t=20-200 \text{ } ^{\circ}\text{C}$

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № инв.
Инв. № подл.	Подп. и дата
	Инв. № инв.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

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

5) Допускаемое напряжение фланцев для стали 09Г2С при рабочей температуре

$$\sigma = 186.5 \text{ МПа}$$

При температуре испытания при 20 °С

$$\sigma = 196 \text{ МПа}$$

6) Модуль упругости для стали 09Г2С при рабочей температуре

$$E_1 := 1.95 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

При температуре испытаний 20 °С

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

7) Коэффициент линейного расширения для стали 09Г2С

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

Расчет количества болтов произведем из условия:

$$n_{\sigma} \geq \frac{\pi D_{\text{bolt}}}{t_{\text{шаг}}}$$

где, D_{bolt} – диаметр болтовой окружности; $t_{\text{шаг}}$ – рекомендуемый шаг расположения болтов.

Толщина втулки фланца, рассчитывается из условия:

$$s_0 \geq s$$

Примем:

$$s_0 = s_{\text{штуц}}$$

Толщина втулки, мм:

$$s_{\text{вТ}} = s_0$$

$$s_{\text{вТ}} := 22 \text{ мм}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

В соответствии с рекомендацией СТО 0041-2004 примем диаметр болта, мм [33]:

$$d_{\text{bolt}} := 27 \text{ мм}$$

В соответствии с рекомендацией [30, с.94] нормативный зазор между гайкой и втулкой, примем:

$$u := 2 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера ввода исходной смеси:

$$D_{\text{bolt1}} := D_1 + 2(s_{\text{BT}} + d_{\text{bolt}} + u)$$

$$D_{\text{bolt1}} = 190 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера ввода флегмы

$$D_{\text{bolt2}} := D_2 + 2(s_{\text{BT}} + d_{\text{bolt}} + u)$$

$$D_{\text{bolt2}} = 320 \text{ мм}$$

Диаметр фланца штуцера отвода дистиллята

$$D_{\text{bolt6}} := D_6 + 2(s_{\text{BT}} + d_{\text{bolt}} + u)$$

$$D_{\text{bolt6}} = 588 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера ввода паров кубового остатка

$$D_{\text{bolt4}} := D_4 + 2(s_{\text{BT}} + d_{\text{bolt}} + u)$$

$$D_{\text{bolt4}} = 488 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера отвода кубового остатка

$$D_{\text{bolt5}} := D_5 + 2(s_{\text{BT}} + d_{\text{bolt}} + u)$$

$$D_{\text{bolt5}} = 138 \text{ мм}$$

Примем $t_{\text{шаг}}$ в соответствии с рекомендацией таблицы 1.43,[30, с.94]

$$t_{\text{шаг}} := 3.5 \cdot d_{\text{bolt}} = 70$$

Ориентировочные количество болтов

$$n_{\text{болт1}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{болт1}}}{t_{\text{шаг}}} = 8,527 \text{ мм}$$

$$n_{\text{болт2}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{болт2}}}{t_{\text{шаг}}} = 14,362 \text{ мм}$$

Ине. № дубл.	Ине. № инв. №	Подп. и дата
Ине. № подп.	Подп. и дата	
Ли	Изм.	№ докум.
Подп.	Дат	

$$n_{\text{болт6}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{болт6}}}{t_{\text{шаг}}} = 26,389 \text{ мм}$$

$$n_{\text{болт4}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{болт4}}}{t_{\text{шаг}}} = 21,901 \text{ мм}$$

$$n_{\text{болт5}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{болт5}}}{t_{\text{шаг}}} = 3,86 \text{ мм}$$

Примем по

$$n_{\text{болт1}}=12$$

$$n_{\text{болт2}}=12$$

$$n_{\text{болт6}}=12$$

$$n_{\text{болт4}}=20$$

$$n_{\text{болт5}}=8$$

В соответствии с Таблица В.1,стр.25ГОСТ34233.4-2017 [15] расчетная температура неизолированных плоских фланцев [32]:

$$t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 57,6^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\phi} = 0,95 \cdot t = 57^{\circ}\text{C}$$

Допускаемое напряжение для материала болтов из стали 35Х в соответствии с Таблица Г.1, стр.27 ГОСТ 34233.4-2017 [15] для 20 и 100°С:

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

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре в соответствии с Таблица Ж .1, стр . 31 ГОСТ 34233.4-2017 [15]:

$$E_{\phi} = 2,165 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания 20 °С в соответствии с Таблица Ж .1, стр . 31 ГОСТ 34233.4-2017 [15]:

$$E_{20\phi} = 2,18 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Коэффициент линейного расширения стали 35Х при t=20-200 °С:

$$\alpha_{\sigma} = 13.4 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

Допускаемое напряжение для фланцев из стали 09Г2С:

$$\sigma = 186,5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С при рабочей температуре
Приложение В.1, стр.29 ГОСТ34233.1-2017 [11]:

$$E_{20} = 1,95 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для фланцев из стали 09Г2С при температуре 20°С
Приложение В.1, стр.29 ГОСТ34233.1-2017 [11]:

$$\sigma = 196 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С при температуре испытания 20 °С
Приложение В.1, стр.29 ГОСТ34233.1-2017 [11]:

$$E_{20} = 1,99 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 09Г2С при t=20-100 °С:

$$\alpha_{\phi} = 11,6 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

Эффективная ширина плоской прокладки (b0) в соответствии с ГОСТ 34233.4-2017 должна удовлетворять условию:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$b_{\Pi} := 15 \text{ мм}$$

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

$$b_0 = 15 \text{ мм}$$

$$h_{\text{пр}} := 3 \text{ мм}$$

Примем характеристики прокладки в соответствии с таблицей И.1, стр32 ГОСТ 34233.4-2017[16]

Прокладочный коэффициент:

$$m_{\text{проклад}}=2.5$$

Удельное давления обжатия прокладки , МПа:

$$q_{\text{обжат}}=20$$

Допускаемое удельное давление , МПа:

$$q_d=130$$

Коэффициент обжатия:

$$K_{\text{обжат}}=0.9$$

Условный модуль сжатия прокладки, МПа :

$$E_{\text{сжп}}=0.02 \cdot 10^5$$

Толщина втулки рассчитывается из условия в соответствии с рекомендацией [17, с. 126]:

$$s \leq s_0 \leq 1.35 \cdot s$$

$$s - s_0 \leq 5 \text{ мм}$$

$$s_0 := 25$$

Толщина втулки у основания втулки, мм:

$$\beta_1 = 1,5$$

$$S_1 = \beta_1 \cdot s_0 = 37.5$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Высота втулки рассчитывается из условия, мм:

$$1_{BT} \geq 3(S_1 - s_0) = 37.5$$

Примем $1_{\phi}=40$ мм

Диаметр болтовой окружности, мм:

$$D_{bolt1} = D_1 + 2(S_1 + d_{bolt} + u) = 269 \text{ мм}$$

$$D_{bolt2} = D_2 + 2(S_1 + d_{bolt} + u) = 369 \text{ мм}$$

$$D_{bolt6} = D_6 + 2(S_1 + d_{bolt} + u) = 619 \text{ мм}$$

$$D_{bolt4} = D_4 + 2(S_1 + d_{bolt} + u) = 519 \text{ мм}$$

$$D_{bolt5} = D_5 + 2(S_1 + d_{bolt} + u) = 169 \text{ мм}$$

Наружный диаметр фланцев рассчитывается из условия, мм:

$$D_{\text{нар.фланца}} \geq D_6 + a$$

Примем в соответствии с таблицей 25 приложения 2 [17, с.160]

конструктивные добавки, мм:

$a=40$ мм - для шестигранных гаек

Для фланца штуцера ввода исходной смеси:

$$D_{\text{нар.фланц1}} = D_{bolt1} + a = 309 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера ввода флегмы:

$$D_{\text{нар.фланц2}} = D_{bolt2} + a = 409 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера отвода паров дистиллята:

$$D_{\text{нар.фланц6}} = D_{bolt6} + a = 659 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера ввода паров кубовой смеси:

$$D_{\text{нар.фланц4}} = D_{bolt4} + a = 559 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера отвода паров кубового остатка:

$$D_{\text{нар.фланц5}} = D_{bolt5} + a = 219 \text{ мм}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Наружный диаметр прокладки, мм:

Примем $e = 30$ - для плоских прокладок

Для фланца штуцера ввода исходной смеси:

$$D_{\text{нар.пр1}} = D_{\text{bolt1}} + e = 299 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера ввода флегмы:

$$D_{\text{нар.пр2}} = D_{\text{bolt2}} + e = 399 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера отвода паров дистиллята:

$$D_{\text{нар.пр6}} = D_{\text{bolt6}} + e = 649 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера ввода паров кубовой смеси:

$$D_{\text{нар.пр4}} = D_{\text{bolt4}} + e = 549 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера отвода паров кубового остатка:

$$D_{\text{нар.пр5}} = D_{\text{bolt5}} + e = 199 \text{ мм}$$

Примем, конструктивно в соответствии с ГОСТ 15180-86 [38]:

Для фланца штуцера ввода исходной смеси:

$$D_{\text{нар.пр1}} = D_{\text{bolt1}} + e = 220 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера ввода флегмы:

$$D_{\text{нар.пр2}} = D_{\text{bolt2}} + e = 338 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера отвода паров дистиллята:

$$D_{\text{нар.пр6}} = D_{\text{bolt6}} + e = 620 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера ввода паров кубовой смеси:

$$D_{\text{нар.пр4}} = D_{\text{bolt4}} + e = 515 \text{ мм}$$

Для фланца штуцера отвода паров кубового остатка:

$$D_{\text{нар.пр5}} = D_{\text{bolt5}} + e = 106 \text{ мм}$$

Средний диаметр прокладки

$$D_{\text{ср.пр.1}} := D_{\text{нар.пр.1}} - d_{\text{bolt}} = 200 \text{ мм}$$

$$D_{\text{ср.пр.2}} := D_{\text{нар.пр.2}} - d_{\text{bolt}} = 318 \text{ мм}$$

$$D_{\text{ср.пр.6}} := D_{\text{нар.пр.6}} - d_{\text{bolt}} = 600 \text{ мм}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$D_{\text{ср.пр.4}} := D_{\text{нар.пр.4}} - d_{\text{bolt}} = 495 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{ср.пр.5}} := D_{\text{нар.пр.5}} - d_{\text{bolt}} = 86 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр прокладок

$$D_{\text{ср.пр.1}} := D_{\text{нар.пр.1}} - (b_0) = 205 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{ср.пр.2}} := D_{\text{нар.пр.2}} - (b_0) = 323 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{ср.пр.6}} := D_{\text{нар.пр.6}} - (b_0) = 605 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{ср.пр.4}} := D_{\text{нар.пр.4}} - (b_0) = 500 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{ср.пр.5}} := D_{\text{нар.пр.5}} - (b_0) = 91 \quad \text{мм}$$

Расчет фланцевого соединения на прочность и герметичность

Фланцевое соединение должно быть прочным, жестким и герметичным [39, с.10]. В соответствии с рекомендацией ГОСТ 57852.4-2007 необходимо провести расчет фланцевых соединений на прочность и герметичность.

Расчет прочности болтов сводится к выполнению условий, при затяжке:

$$\sigma_{61} \leq 1.3 \cdot \xi \cdot \sigma_{20}$$

Где ξ в соответствии с рекомендацией [39, с.13], примем равным:

$$\xi = 1.2$$

В рабочих условиях:

$$\sigma_{62} \leq 1.3 \cdot \sigma_6$$

$$\sigma_{20} := (\sigma_{\text{дб}})$$

$$\sigma_6 := (\sigma_{\text{дб}})$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_{6.p}}{L_{6.эф} \cdot n} \quad \sigma_{61} = \frac{P_{6.м}}{L_{6.эф} \cdot n}$$

Инв. № подл	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № инв.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Податливость прокладки:

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\text{пр}} \cdot K_{\text{обжат}}}{E_{\text{сжп}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ср.пр.6}} \cdot b_{\Pi}} = 4.735 \times 10^{-8} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

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

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости, по ГОСТ 52857.4-2017:

$$l_{\text{bolt.0}} := 64 \text{ мм}$$

$$L_{\text{б.эф}} := \begin{cases} (l_{\text{bolt.0}} + 0.28 \cdot d_{\text{bolt}}) & \text{if } b_s = 1 \\ (l_{\text{bolt.0}} + 0.56 \cdot d_{\text{bolt}}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L_{\text{б.эф}} = 69.6 \text{ мм}$$

$$f_{\text{болт}} := 225 \text{ мм}$$

$$A_{\text{болт1}} := n_{\text{bolt1}} \cdot f_{\text{болт}} = 2.7 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$A_{\text{болт2}} := n_{\text{bolt2}} \cdot f_{\text{болт}} = 2.7 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$A_{\text{болт6}} := n_{\text{bolt6}} \cdot f_{\text{болт}} = 4.5 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$A_{\text{болт4}} := n_{\text{bolt4}} \cdot f_{\text{болт}} = 4.5 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$A_{\text{болт5}} := n_{\text{bolt5}} \cdot f_{\text{болт}} = 1.8 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Податливость болтов

$$y_{\text{б1}} = \frac{L_{\text{б.эф}}}{E_{206} \cdot A_{\text{болт1}}} = 1,182 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке в соответствии с ГОСТ 34233.4-2007:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$y_{62} = \frac{L_{6.эф}}{E_{206} \cdot A_{болт2}} = 1,182 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{66} = \frac{L_{6.эф}}{E_{206} \cdot A_{болт6}} = 7,095 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{64} = \frac{L_{6.эф}}{E_{206} \cdot A_{болт4}} = 7,095 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{65} = \frac{L_{6.эф}}{E_{206} \cdot A_{болт5}} = 1,774 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$P_{обж1} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{ср.пр.1} \cdot b_0 \cdot q_{обжат} = 9,66 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$P_{обж2} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{ср.пр.2} \cdot b_0 \cdot q_{обжат} = 1,522 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{обж6} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{ср.пр.6} \cdot b_0 \cdot q_{обжат} = 2,851 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{обж4} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{ср.пр.4} \cdot b_0 \cdot q_{обжат} = 2,356 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{обж5} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{ср.пр.5} \cdot b_0 \cdot q_{обжат} = 4,288 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения в соответствии с ГОСТ 34233.4-2007:

$$R_{п1} = \left[\begin{array}{l} \pi \cdot D_{ср.пр.1} \cdot b_0 \cdot m_{проклад} \cdot P \text{ if } P \geq 0 \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right]$$

$$R_{п1} = 4,83 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$R_{п2} = \left[\begin{array}{l} \pi \cdot D_{ср.пр.2} \cdot b_0 \cdot m_{проклад} \cdot P \text{ if } P \geq 0 \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right]$$

$$R_{п2} = 7,611 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$R_{п6} = \left[\begin{array}{l} \pi \cdot D_{ср.пр.6} \cdot b_0 \cdot m_{проклад} \cdot P \text{ if } P \geq 0 \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right]$$

$$R_{п6} = 1,425 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$R_{п4} = \left[\begin{array}{l} \pi \cdot D_{ср.пр.4} \cdot b_0 \cdot m_{проклад} \cdot P \text{ if } P \geq 0 \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right]$$

$$R_{п4} = 1,178 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$R_{п5} = \begin{cases} \pi \cdot D_{ср.пр.5} \cdot b_0 \cdot m_{проклад} \cdot P & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{п5} = 2,144 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{д1} = 0,785 \cdot D_{ср.пр.1}^2 \cdot P = 6,598 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$Q_{д2} = 0,785 \cdot D_{ср.пр.2}^2 \cdot P = 1,638 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$Q_{д6} = 0,785 \cdot D_{ср.пр.6}^2 \cdot P = 5,747 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$Q_{д4} = 0,785 \cdot D_{ср.пр.4}^2 \cdot P = 3,925 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$Q_{д5} = 0,785 \cdot D_{ср.пр.5}^2 \cdot P = 1,3 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента, примем равным нулю т.к. нет момента создаваемого редуктором:

$$M = 0$$

Ввиду отсутствия действия внешних сил, примем приведенную нагрузку QFM равной нулю в соответствии с рекомендацией ГОСТ Р52857.4-2007:

$$Q_{FM} = 0$$

Длина втулки, мм:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = 273,861 \text{ мм}$$

Расчетный коэффициент равный отношению наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K_1 = \frac{D_{нар.пр.1}}{D} = 0,073 \text{ мм}$$

$$K_2 = \frac{D_{нар.пр.2}}{D} = 0,113 \text{ мм}$$

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212.001 ПЗ

$$K_6 = \frac{D_{\text{нар.пр.6}}}{D} = 0,207 \text{ мм}$$

$$K_4 = \frac{D_{\text{нар.пр.4}}}{D} = 0,172 \text{ мм}$$

$$K_6 = \frac{D_{\text{нар.пр.6}}}{D} = 0,035 \text{ мм}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента, примем равным нулю т.к. нет момента создаваемого редуктором. Ввиду отсутствия действия внешних сил, примем приведенную нагрузку QFM равной нулю в соответствии с рекомендацией ГОСТ Р34233.4-2017

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца

Для фланца штуцера исходной смеси

$$\beta_{T1} = \frac{K_1^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_1)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_1^2) \cdot (K_1 - 1)} \quad \beta_{T1} = 1,065$$

$$\beta_{U1} = \frac{K_1^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_1)) - 1}{1,36(K_1^2 - 1) \cdot (K_1 - 1)} \quad \beta_{U1} = -0,835$$

$$\beta_{Y1} = \frac{1}{(K_1 - 1)} \left[0,69 + 5,72 \cdot \frac{K_1^2 \cdot \log(K_1)}{(K_1^2 - 1)} \right] \quad \beta_{Y1} = -0,782$$

$$\beta_{Z1} = \frac{(K_1^2 + 1)}{(K_1 - 1)} = -1,011$$

для фланца штуцеров отвода кубового остатка, ввода флегмы, паров дистиллята, паров кубовой смеси:

$$\beta_{T2} = \frac{K_2^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_2)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_2^2) \cdot (K_2 - 1)} \quad \beta_{T2} = 1,143$$

$$\beta_{U2} = \frac{K_2^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_2)) - 1}{1,36(K_2^2 - 1) \cdot (K_2 - 1)} \quad \beta_{U2} = -0,871$$

$$\beta_{Y2} = \frac{1}{(K_2 - 1)} \left[0,69 + 5,72 \cdot \frac{K_2^2 \cdot \log(K_2)}{(K_2^2 - 1)} \right] \quad \beta_{Y2} = -0,776$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\beta_{Z2} = \frac{(K_2^2 + 1)}{(K_2 - 1)} = -1,026$$

Аналогичным образом рассчитываем коэффициенты для остальных штуцеров:

$$\beta_{T5} = \frac{K_5^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_5)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_5^2) \cdot (K_5 - 1)} \quad \beta_{T5} = 0,999$$

$$\beta_{U5} = \frac{K_5^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_5)) - 1}{1,36(K_5^2 - 1) \cdot (K_5 - 1)} \quad \beta_{U5} = -0,774$$

$$\beta_{Y5} = \frac{1}{(K_5 - 1)} \left[0,69 + 5,72 \cdot \frac{K_5^2 \cdot \log(K_5)}{(K_5^2 - 1)} \right] \quad \beta_{Y5} = -0,726$$

$$\beta_{Z5} = \frac{(K_5^2 + 1)}{(K_1 - 1)} = -1,003$$

$$\beta_{T6} = \frac{K_6^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_6)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_6^2) \cdot (K_6 - 1)} \quad \beta_{T6} = 1,343$$

$$\beta_{U6} = \frac{K_6^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_6)) - 1}{1,36(K_6^2 - 1) \cdot (K_6 - 1)} \quad \beta_{U6} = -1,169$$

$$\beta_{Y6} = \frac{1}{(K_6 - 1)} \left[0,69 + 5,72 \cdot \frac{K_6^2 \cdot \log(K_6)}{(K_6^2 - 1)} \right] \quad \beta_{Y6} = -1,09$$

$$\beta_{Z6} = \frac{(K_6^2 + 1)}{(K_6 - 1)} = -1,089$$

$$\beta_{T4} = \frac{K_4^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_4)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_4^2) \cdot (K_4 - 1)} \quad \beta_{T4} = 1,268$$

$$\beta_{U4} = \frac{K_4^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_4)) - 1}{1,36(K_4^2 - 1) \cdot (K_4 - 1)} \quad \beta_{U4} = -1,064$$

$$\beta_{Y4} = \frac{1}{(K_4 - 1)} \left[0,69 + 5,72 \cdot \frac{K_4^2 \cdot \log(K_4)}{(K_4^2 - 1)} \right] \quad \beta_{Y4} = -0,993$$

$$\beta_{Z4} = \frac{(K_4^2 + 1)}{(K_4 - 1)} = -1,061$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Таблица 7- полученные значения коэффициентов

	Фла нец 1	Фла нец 2	Фла нец 6	Фла нец 4	Фла нец 5
$\beta.T$	1,06	1,14	1,34	1,26	0,99
	5	3	3	8	9
$\beta.U$	-	-	-	-	-
	0,835	0,871	1,169	1,064	0,774
$\beta.Y$	-	-	-	-	-
	0,782	0,776	1,09	0,993	0,726
$\beta.Z$	-	-	-	-	-
	1,011	1,026	1,089	1,061	1,003

Толщина тарелки фланца, в соответствии с [39, с. 9]

принимается из условия:

Принимаем коэффициенты β_F, β_U и f фланцевых соединений с приварными стык фланцами в соответствии с рисунками К.2 и К.4 ГОСТ 34233.4-2017:

$$\beta_F = 0,91$$

$$\beta_U = 0,55$$

$$f = 1$$

Толщина тарелки фланца, в соответствии с [39, с. 9]

принимается из условия:

$$h \geq \lambda_\phi \cdot \sqrt{D \cdot s_0}$$

Где значение λ_ϕ определяется по графику 6 [39, с.9]:

$$\lambda_\phi = 0,35$$

$$h = \lambda_\phi \cdot \sqrt{D \cdot s_0}$$

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Расчетный коэффициент λ , в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-

2007 рассчитывается в соответствии с формулой:

$$\lambda_1 = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_{T1} \cdot l_0} + \frac{\beta_U \cdot h^3}{\beta_{U1} \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -2,151$$

$$\lambda_2 = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_{T2} \cdot l_0} + \frac{\beta_U \cdot h^3}{\beta_{U2} \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -2,094$$

$$\lambda_6 = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_{T6} \cdot l_0} + \frac{\beta_U \cdot h^3}{\beta_{U6} \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -1,439$$

$$\lambda_1 = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_{T1} \cdot l_0} + \frac{\beta_U \cdot h^3}{\beta_{U1} \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -2,151$$

$$\lambda_4 = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_{T4} \cdot l_0} + \frac{\beta_U \cdot h^3}{\beta_{U4} \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -1,62$$

$$\lambda_5 = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_{T5} \cdot l_0} + \frac{\beta_U \cdot h^3}{\beta_{U5} \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -2,336$$

Угловая податливость фланцев в соответствии с рекомендацией ГОСТ Р 52857.4-2007:

1) угловая податливость фланца при затяжке, $\frac{\text{мм}}{\text{Н}}$:

$$y_{\phi 1} = \frac{0,91 \cdot \beta_U}{E_{20} \cdot \lambda_1 \cdot l_0 (s_0)^2} = -6,832 \cdot 10^{-12} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{\phi 2} = \frac{0,91 \cdot \beta_U}{E_{20} \cdot \lambda_2 \cdot l_0 (s_0)^2} = -7,017 \cdot 10^{-12} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{\phi 6} = \frac{0,91 \cdot \beta_U}{E_{20} \cdot \lambda_6 \cdot l_0 (s_0)^2} = -1,021 \cdot 10^{-11} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{\phi 4} = \frac{0,91 \cdot \beta_U}{E_{20} \cdot \lambda_4 \cdot l_0 (s_0)^2} = -9,071 \cdot 10^{-12} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{\phi 5} = \frac{0,91 \cdot \beta_U}{E_{20} \cdot \lambda_5 \cdot l_0 (s_0)^2} = -6,29 \cdot 10^{-12} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

2) угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом, $\frac{\text{мм}}{\text{Н}}$:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$y_{\phi n1} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{bolt1}}{E_{20} \cdot h_3 \cdot D_{нар.фланц.1}} = 2,407 \cdot 10^{-12} \frac{ММ}{Н}$$

$$y_{\phi n2} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{bolt1}}{E_{20} \cdot h_3 \cdot D_{нар.фланц.2}} = 2,494 \cdot 10^{-12} \frac{ММ}{Н}$$

$$y_{\phi n6} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{bolt1}}{E_{20} \cdot h_3 \cdot D_{нар.фланц.6}} = 2,597 \cdot 10^{-12} \frac{ММ}{Н}$$

$$y_{\phi n4} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{bolt1}}{E_{20} \cdot h_3 \cdot D_{нар.фланц.4}} = 2,567 \cdot 10^{-12} \frac{ММ}{Н}$$

$$y_{\phi n5} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{bolt1}}{E_{20} \cdot h_3 \cdot D_{нар.фланц.5}} = 2,133 \cdot 10^{-12} \frac{ММ}{Н}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками (болтами), в соответствии с ГОСТ 52857.4-2007:

$$C_{F1} = \max \cdot \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{bolt1}}{n_{bolt1} \cdot \left(2 \cdot d_{bolt} + \frac{6 \cdot h}{m_{проклад} + 0,5}\right)}} \right] = 1$$

$$C_{F2} = \max \cdot \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{bolt2}}{n_{bolt2} \cdot \left(2 \cdot d_{bolt} + \frac{6 \cdot h}{m_{проклад} + 0,5}\right)}} \right] = 1$$

$$C_{F6} = \max \cdot \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{bolt6}}{n_{bolt6} \cdot \left(2 \cdot d_{bolt} + \frac{6 \cdot h}{m_{проклад} + 0,5}\right)}} \right] = 1$$

$$C_{F4} = \max \cdot \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{bolt4}}{n_{bolt4} \cdot \left(2 \cdot d_{bolt} + \frac{6 \cdot h}{m_{проклад} + 0,5}\right)}} \right] = 1$$

$$C_{F5} = \max \cdot \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{bolt5}}{n_{bolt5} \cdot \left(2 \cdot d_{bolt} + \frac{6 \cdot h}{m_{проклад} + 0,5}\right)}} \right] = 1$$

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Ине. № инв.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Приведенный диаметр плоского фланца, в соответствии с рекомендацией ГОСТ 52857.4-2007:

$$D_{\text{пр}} := D$$

Приведенный диаметр плоского фланца, в соответствии с рекомендацией ГОСТ 52857.4-2007:

$$b_1 := 0.5 \cdot (D_{\text{bolt1}} - D_{\text{ср.пр.1}}) = 32 \text{ мм}$$

$$b_2 := 0.5 \cdot (D_{\text{bolt2}} - D_{\text{ср.пр.2}}) = 23 \text{ мм}$$

$$b_6 := 0.5 \cdot (D_{\text{bolt6}} - D_{\text{ср.пр.6}}) = 7 \text{ мм}$$

$$b_4 := 0.5 \cdot (D_{\text{bolt4}} - D_{\text{ср.пр.4}}) = 9.5 \text{ мм}$$

$$b_5 := 0.5 \cdot (D_{\text{bolt5}} - D_{\text{ср.пр.5}}) = 39 \text{ мм}$$

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

$$e_1 := |0.5 \cdot (D_{\text{ср.пр.1}} - D - s_0)| = 1.41 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$e_2 := |0.5 \cdot (D_{\text{ср.пр.2}} - D - s_0)| = 1.351 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$e_6 := |0.5 \cdot (D_{\text{ср.пр.6}} - D - s_0)| = 1.21 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$e_4 := |0.5 \cdot (D_{\text{ср.пр.4}} - D - s_0)| = 1.262 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$e_5 := |0.5 \cdot (D_{\text{ср.пр.5}} - D - s_0)| = 1.467 \times 10^3 \text{ мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык плоских фланцев, по ГОСТ Р 52857.4-2007:

$$\gamma_1 := \frac{1}{y_{\text{п}} + 2 \cdot b_1^2 \cdot y_{\phi 1} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_{\phi 1} \cdot \frac{E_{206}}{E_6}} = 6.573 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$\gamma_2 := \frac{1}{y_{\text{п}} + 2 \cdot b_2^2 \cdot y_{\phi 2} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_{\phi 2} \cdot \frac{E_{206}}{E_6}} = 6.296 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$\gamma_6 := \frac{1}{y_{\text{п}} + 2 \cdot b_6^2 \cdot y_{\phi 6} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_{\phi 6} \cdot \frac{E_{206}}{E_6}} = 8.491 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$\gamma_4 := \frac{1}{y_{\text{п}} + 2 \cdot b_4^2 \cdot y_{\phi 4} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_{\phi 4} \cdot \frac{E_{206}}{E_6}} = 8.538 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Инв. № инв.	Подп. и дата	Лист
ФЮРА.066212.001 ПЗ								103

$$\gamma_5 := \frac{1}{y_{\Pi} + 2 \cdot b_5^2 \cdot y_{\phi 5} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_{\phi 5} \cdot \frac{E_{206}}{E_6}} = 4.844 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

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

$$\alpha_1 := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e_1 \cdot y_{\Pi} \cdot b_1}{y_{\Pi} + y_{\phi 1} + 2 \cdot b_1^2 \cdot y_{\phi \text{Н}1}} = 2.506 \times 10^4$$

$$\alpha_2 := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e_2 \cdot y_{\Pi} \cdot b_2}{y_{\Pi} + y_{\phi 2} + 2 \cdot b_2^2 \cdot y_{\phi \text{Н}2}} = 1.749 \times 10^4$$

$$\alpha_6 := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e_6 \cdot y_{\Pi} \cdot b_6}{y_{\Pi} + y_{\phi 6} + 2 \cdot b_6^2 \cdot y_{\phi \text{Н}6}} = 6.767 \times 10^3$$

$$\alpha_4 := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e_4 \cdot y_{\Pi} \cdot b_4}{y_{\Pi} + y_{\phi 4} + 2 \cdot b_4^2 \cdot y_{\phi 4}} = 9.737 \times 10^3$$

$$\alpha_5 := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e_5 \cdot y_{\Pi} \cdot b_5}{y_{\Pi} + y_5 + 2 \cdot b_5^2 \cdot y_{\phi \text{Н}5}} = 2.344 \times 10^4$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_{M1} := \frac{y_{\phi 1} + 2 \cdot y_{\phi \text{Н}1} \cdot b_1 \cdot \left(b_1 + e - \frac{e^2}{D_{\text{ср.пр.1}}}\right)}{y_{\phi 1} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\text{bolt1}}}{D_{\text{ср.пр.1}}}\right)^2 + 2 \cdot y_{\phi \text{Н}1} \cdot b_1^2}$$

$$\alpha_{M1} := 1$$

$$\alpha_{M2} := \frac{y_{\phi 2} + 2 \cdot y_{\phi \text{Н}2} \cdot b_2 \cdot \left(b_2 + e - \frac{e^2}{D_{\text{ср.пр.2}}}\right)}{y_{\phi 2} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\text{bolt2}}}{D_{\text{ср.пр.2}}}\right)^2 + 2 \cdot y_{\phi \text{Н}2} \cdot b_2^2}$$

$$\alpha_{M2} := 0.679$$

$$\alpha_{M6} := \frac{y_{\phi 6} + 2 \cdot y_{\phi \text{Н}6} \cdot b_6 \cdot \left(b_6 + e - \frac{e^2}{D_{\text{ср.пр.6}}}\right)}{y_{\phi 6} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\text{bolt6}}}{D_{\text{ср.пр.6}}}\right)^2 + 2 \cdot y_{\phi \text{Н}6} \cdot b_6^2}$$

$$\alpha_{M6} := 0.598$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\alpha_{M4} := \frac{y_{64} + 2 \cdot y_{\phi H4} \cdot b_4 \cdot \left(b_4 + e - \frac{e^2}{D_{\text{ср.пр.4}}}\right)}{y_{64} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\text{bolt4}}}{D_{\text{ср.пр.4}}}\right)^2 + 2 \cdot y_{\phi H4} \cdot b_4^2}$$

$$\alpha_{M4} := 0.595$$

$$\alpha_{M5} := \frac{y_{65} + 2 \cdot y_{\phi H5} \cdot b_5 \cdot \left(b_5 + e - \frac{e^2}{D_{\text{ср.пр.5}}}\right)}{y_{65} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\text{bolt5}}}{D_{\text{ср.пр.5}}}\right)^2 + 2 \cdot y_{\phi H5} \cdot b_5^2}$$

$$\alpha_{M5} := 0.539$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами, Н:

$$Q_{t1} := |\gamma_1 \cdot [2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)]| = 7.515 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$Q_{t2} := |\gamma_2 \cdot [2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)]| = 7.198 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$Q_{t6} := |\gamma_6 \cdot [2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)]| = 9.708 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$Q_{t4} := |\gamma_4 \cdot [2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)]| = 9.762 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$Q_{t5} := |\gamma_5 \cdot [2\alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)]| = 5.539 \times 10^4 \text{ Н}$$

В соответствии с рекомендацией ГОСТ 52857.4-2007 т.к. фланец не имеет рубашки, примем момент сил равным:

$$M := 0$$

$$F := 0$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, достаточная для герметизации фланцевого соединения

$$P_{611} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha_1 \cdot (Q_{d1} + F) + R_{п1} + \frac{4 \cdot \alpha_{M1} \cdot |M|}{D_{\text{ср.пр.1}}} \\ \alpha_1 \cdot (Q_{d1} + F) + R_{п1} + \frac{4 \cdot \alpha_{M1} \cdot |M|}{D_{\text{ср.пр.1}}} - Q_{t1} \end{array} \right] = 1.653 \times 10^9 \text{ Н}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$P_{612} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha_2 \cdot (Q_{д2} + F) + R_{п2} + \frac{4 \cdot \alpha_{M2} \cdot |M|}{D_{ср.пр.2}} \\ \alpha_2 \cdot (Q_{д2} + F) + R_{п2} + \frac{4 \cdot \alpha_{M2} \cdot |M|}{D_{ср.пр.2}} - Q_{t2} \end{array} \right] = 2.865 \times 10^9 \text{ Н}$$

$$P_{616} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha_1 \cdot (Q_{д6} + F) + R_{п6} + \frac{4 \cdot \alpha_{M6} \cdot |M|}{D_{ср.пр.6}} \\ \alpha_1 \cdot (Q_{д6} + F) + R_{п6} + \frac{4 \cdot \alpha_{M6} \cdot |M|}{D_{ср.пр.6}} - Q_{t6} \end{array} \right] = 1.44 \times 10^{10} \text{ Н}$$

$$P_{614} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha_4 \cdot (Q_{д4} + F) + R_{п4} + \frac{4 \cdot \alpha_{M4} \cdot |M|}{D_{ср.пр.4}} \\ \alpha_4 \cdot (Q_{д4} + F) + R_{п4} + \frac{4 \cdot \alpha_{M4} \cdot |M|}{D_{ср.пр.4}} - Q_{t4} \end{array} \right] = 3.822 \times 10^9 \text{ Н}$$

$$P_{615} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha_5 \cdot (Q_{д5} + F) + R_{п5} + \frac{4 \cdot \alpha_{M5} \cdot |M|}{D_{ср.пр.5}} \\ \alpha_5 \cdot (Q_{д5} + F) + R_{п5} + \frac{4 \cdot \alpha_{M5} \cdot |M|}{D_{ср.пр.5}} - Q_{t5} \end{array} \right] = 3.047 \times 10^8 \text{ Н}$$

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

$$P_{bolt21} := \max(P_{обж1}, 0, 4 \cdot A_{болт1} \cdot \sigma_{206}) = 2.484 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{bolt22} := \max(P_{обж2}, 0, 4 \cdot A_{болт2} \cdot \sigma_{206}) = 2.484 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{bolt26} := \max(P_{обж6}, 0, 4 \cdot A_{болт6} \cdot \sigma_{206}) = 4.14 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{bolt24} := \max(P_{обж4}, 0, 4 \cdot A_{болт4} \cdot \sigma_{206}) = 4.14 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{bolt25} := \max(P_{обж5}, 0, 4 \cdot A_{болт5} \cdot \sigma_{206}) = 1.656 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

Для штуцера подачи исходной смеси:

$$P_{ВМ1} := \max(P_{bolt21}, P_{611})$$

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$P_{BM1} = 1.653 \times 10^8 \quad \text{Н}$$

Для штуцера подачи флегмы:

$$P_{BM2} := \max(P_{bolt22}, P_{612})$$

$$P_{BM2} = 2.865 \times 10^8 \quad \text{Н}$$

Для штуцера отвода паров дистиллята:

$$P_{BM6} := \max(P_{bolt26}, P_{616})$$

$$P_{BM6} = 1.44 \times 10^9 \quad \text{Н}$$

Для штуцера подачи паров кубовой смеси:

$$P_{BM4} := \max(P_{bolt24}, P_{614})$$

$$P_{BM4} = 3.822 \times 10^8 \quad \text{Н}$$

Для штуцера отвода кубовой смеси:

$$P_{BM5} := \max(P_{bolt25}, P_{615})$$

$$P_{BM5} = 2.365 \times 10^8 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{бр1} := P_{BM1} + (1-\alpha_1) \cdot (Q_{д1} + F) + Q_{т1} + \frac{4 \cdot (1-\alpha_{M1}) \cdot |M|}{D_{ср.пр.1}} \quad \text{Н}$$

$$P_{бр2} := P_{BM2} + (1-\alpha_2) \cdot (Q_{д2} + F) + Q_{т2} + \frac{4 \cdot (1-\alpha_{M2}) \cdot |M|}{D_{ср.пр.2}} \quad \text{Н}$$

$$P_{бр3} := P_{BM6} + (1-\alpha_6) \cdot (Q_{д6} + F) + Q_{т6} + \frac{4 \cdot (1-\alpha_{M6}) \cdot |M|}{D_{ср.пр.6}} \quad \text{Н}$$

$$P_{бр4} := P_{BM4} + (1-\alpha_4) \cdot (Q_{д4} + F) + Q_{т4} + \frac{4 \cdot (1-\alpha_{M4}) \cdot |M|}{D_{ср.пр.4}} \quad \text{Н}$$

$$P_{бр5} := P_{BM5} + (1-\alpha_5) \cdot (Q_{д5} + F) + Q_{т5} + \frac{4 \cdot (1-\alpha_{M5}) \cdot |M|}{D_{ср.пр.5}} \quad \text{Н}$$

Проверка прочности болтов и прокладки

1) Для фланца штуцера ввода исходной смеси

Расчетные значения в болтах(шпильках):

- при затяжке

$$\sigma_{61.1} := \frac{P_{BM1}}{A_{болт1} \cdot 10^3}$$

Ине. № дубл.	Взам. ине. №	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

$$\sigma_{61.1} = 61.222 \text{ МПа}$$

- для рабочих условий

$$\sigma_{61.2} := \frac{P_{6p1}}{A_{\text{болт1}}}$$

$$\sigma_{61.2} = 7.874 \text{ МПа}$$

$$Usl := \begin{cases} \bullet \\ Usl := \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{61.1} > \sigma_{206} \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{61.2} > \sigma_d \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl = \text{"условия применения формул выполняется"}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{BM1}, P_{6p1})}{\pi \cdot D_{\text{ср.пр.1}} \cdot b_p \cdot 10^3}$$

$$q = 17.111 \text{ МПа}$$

Допускаемое удельное давление

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_2 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$$

2) Для ввода флегмы

Расчетные значения в болтах (шпильках)

- при затяжке:

$$\sigma_{62.1} := \frac{P_{BM2}}{A_{\text{болт2}} \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{62.1} = 106.111 \text{ МПа}$$

Для рабочих условий

$$\sigma_{62.2} := \frac{P_{6p2}}{A_{\text{болт2}}}$$

$$\sigma_{62.2} = 10.244 \text{ МПа}$$

Ине. № дубл.	Ине. № инв.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Ине. № подп	Подп. и дата		
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.
			Дат

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{62.1} > \sigma_{206} \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{62.2} > \sigma_d \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"условия применения формул выполняется"}$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{BM2}, P_{6p2})}{\pi \cdot D_{cp.pr.2} \cdot b_p \cdot 10^3}$$

$$q = 18.823 \text{ Мпа}$$

Допускаемое удельное давление

$$q_d := 130 \text{ Мпа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

$$U_{sl_2} := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl_2} = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$

3) Для ввода паров кубовой жидкости

Расчетные значения в болтах (шпильках)

- при затяжке:

$$\sigma_{63.1} := \frac{P_{BM4}}{A_{болт4} \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{63.1} = 84.933 \text{ Мпа}$$

Для рабочих условий

$$\sigma_{63.2} := \frac{P_{6p4}}{A_{болт4}}$$

$$\sigma_{63.2} = 8.051 \text{ Мпа}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{63.1} > \sigma_{206} \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{63.2} > \sigma_d \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подп	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Usl = "условия применения формул выполняется"

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{BM4}, P_{бр4})}{\pi \cdot D_{ср.пр.4} \cdot b_{п} \cdot 10^3}$$

$$q = 16.221 \text{ Мпа}$$

Допускаемое удельное давление

$$q_d := 130 \text{ Мпа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

4) Для отвода кубовой жидкости

Расчетные значения в болтах (шпильках)

- при затяжке:

$$\sigma_{64.1} := \frac{P_{BM5}}{A_{болт5} \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{64.1} = 131.389 \text{ Мпа}$$

Для рабочих условий

$$\sigma_{64.2} := \frac{P_{бр5}}{A_{болт5}}$$

$$\sigma_{64.2} = 11.811 \text{ Мпа}$$

$$Usl := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{64.1} > \sigma_{206} \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{64.2} > \sigma_d \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "условия применения формул выполняется"

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{BM5}, P_{бр5})}{\pi \cdot D_{ср.пр.5} \cdot b_{п} \cdot 10^3}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$q = 55.15 \text{ Мпа}$$

Допускаемое удельное давление

$$q_d := 130 \text{ Мпа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_2 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$$

5) Для отвода паров дистиллята

Расчетные значения в болтах (шпильках)

- при затяжке:

$$\sigma_{65.1} := \frac{P_{ВМ6}}{A_{болт6} \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{65.1} = 170 \text{ Мпа}$$

Для рабочих условий

$$\sigma_{65.2} := \frac{P_{бр6}}{A_{болт6}}$$

$$\sigma_{65.2} = 2.544 \text{ Мпа}$$

$$Usl := \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{65.1} > \sigma_{206} \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \sigma_{65.2} > \sigma_d \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl = \text{"условия применения формул выполняется"}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{ВМ5}, P_{бр5})}{\pi \cdot D_{ср.пр.5} \cdot b_p \cdot 10^3}$$

$$q = 70.211 \text{ Мпа}$$

Допускаемое удельное давление

$$q_d := 130 \text{ Мпа}$$

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_2 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$$

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

3.6 Расчет тарелок на прогиб

В соответствии с рекомендацией ОСТ 26-805-73 для колонных аппаратов работающих под избыточным внутренним давлением в качестве исполнительного типа тарелок не обходим выбор тарелок типа ТС-Р2 [40].

Механический расчет тарелок в зависимости от их конструкции включает:
расчет диска опорного каркаса на прочность и жесткость;
проверку контактных устройств на жесткость;
расчет на прочность колосников для тарелок поднасадку.

Диск тарелки бескаркасного типа можно рассматривать как тонкую круглую пластину, опертую по контуру и нагруженную равномерной нагрузкой от собственного веса и веса жидкости. В качестве исполнительной марки стали тарелок выбираем сталь 09Г2С [41, с.100]:

$$D = 3;$$

Расчет веса и площади тарелки

Площадь тарелки, м²:

$$F_{ТАРЕЛКИ} = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = 7.069$$

В соответствии с данными [41, с.102] суммарная площадь отверстий составляет примерно 8% площади диска тарелки. Тогда, суммарная площадь диска тарелки, м²:

$$F_1 = 0.08 \cdot F_{ТАРЕЛКИ} = 0,565 \text{ м}^2$$

Примем толщину тарелки в первом приближении в соответствии с рекомендацией о минимальной толщине тарелки в 3 мм [41, с.102]:

$$S_{диска} = 0,003 \text{ м}$$

Удельный вес стали:

$$\gamma_{стали} = 0,0078 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$$

Вес тарелки, МН:

Изн. № подл.	Подп. и дата	Изн. № дубл.	Взам. изн. №	Подп. и дата	Лист
ФЮРА.066212.001 ПЗ					
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	

$$G_{ТАРЕЛКИ} = (F_{ТАРЕЛКИ} - F_1) \cdot S_{ДИСКА} \cdot \gamma_{СТАЛИ} = 1,522 \cdot 10^{-4} \text{ МН}$$

Примем диаметр отверстия в соответствии с ОСТ 26-805-73 [40]:

$$d_{ОТВ} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$f_{ОТВ} = \frac{\pi \cdot d_{ОТВ}^2}{4} = 1,257 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Количество отверстий:

$$n_{ОТВ} = \text{ceil}\left(\frac{F_1}{f_{ОТВ}}\right) = 4,5 \cdot 10^4$$

С учетом веса слоя жидкости на поверхности тарелки высотой 40 мм. Тогда вес жидкости на тарелки равен:

$$G_{Ж} = \rho_F \cdot 0,04(F_{ТАРЕЛКА} - n_{ОТВ} \cdot f_{ОТВ}) \cdot 9,86 \cdot 10^{-6} = 1,137 \cdot 10^{-3} \text{ МН}$$

Тогда общая нагрузка на которую рассчитывается тарелка:

$$G = G_{Ж} + G_{ТАРЕЛКА} = 1,289 \cdot 10^{-3} \text{ МН}$$

$$P = \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D \cdot 10} = 5,471 \cdot 10^{-5} \frac{\text{МН}}{(\text{м}^2)}$$

Примем конструктивную прибавку равной сумме прибавки на коррозию и на минусовое отклонение в соответствии с рекомендацией [41, с.102]:

$$c_{ТАР} = c_K + c_2 = 1,7 \cdot 10^{-3}$$

В этом случае толщину диска определяют по формуле [41, с.100]:

$$S_{ДИСКА} = 0,56 \cdot \frac{D}{10^3} \cdot \sqrt{\frac{P_{ОБЩ}}{\sigma_D}} + c = 1,701 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Принимаем: $S_{ДИСКА} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3 \text{ мм}$

Проверка расчета

```
prov_tar := | "Расчет правилен" if s_diskt ≤ s_disk
            | "Необходимо проверить расчет" otherwise
```

prov_tar = "Расчет правилен"

В качестве исполнительного типа тарелки выбрана тарелка ТС-Р2 3200-500 ОСТ 26-805-73.

Коэффициент Пуассона μ в соответствии с рекомендацией [41, с.101] примем

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № инв.	Лист
ФЮРА.066212.001 ПЗ						

равным:

$$\mu := 0.3$$

Цилиндрическая жесткость, Н*м:

$$N_T = \frac{E \cdot s_{\text{ДИСКТА}}^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = 4.821 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$R = \frac{1}{2} \cdot D = 1.5$$

Прогиб в центре тарелки, м:

$$\omega_T = 4.08 \frac{P \cdot R^4}{64 \cdot N_T} = 1.339 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

В соответствии с рекомендацией [41, с.101] величина прогиба тарелки не должна превышать 1/2000 е диаметра, и не более 3-х мм:

$$\omega \leq \omega_D$$

$$\omega = D \cdot \frac{1}{2000} = 1.5 \cdot 10^{-3}$$

Проверка на необходимость каркаса

```
prov_tar2 := | "нет необходимости в каркасе" if  $\omega_T \leq \omega_D$   
              | "каркас необходим" otherwise
```

```
prov_tar2 = "нет необходимости в каркасе"
```

```
N := 103
```

```
Nк := 59.4 · 10-3
```

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

3.7 Поверочный расчет колонны по ГОСТ 34233.9-2017

Вес аппарата

$$h_1 := 0.080 \quad \text{м}$$

Высота днища (крышки) [14]

$$H_{кр} := 0.750 \quad \text{м}$$

Вес обечайки

$$G_{ц} := \pi \cdot \left[\frac{(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2}{4} \right] \cdot H_{кр} \cdot \rho_c \cdot g = 1.006 \times 10^7 \quad \text{Н}$$

Внутренний объем эллиптической крышки (днища) [14]

$$V_{д1} := 4.8336 \quad \text{м}^3$$

Масса днища [14]

$$m_{дн} := 2533.5 \quad \text{кг}$$

Вес эллиптического днища (крышки)

$$G_{д} := m_{дн} \cdot g = 2.485 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Вес тарелки

$$G_{Т} := F_{стар} \cdot s_{diskt} \cdot \rho_c \cdot g = 1.633 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

Вес пустого аппарата

$$G_{ап1} := 1.3 \cdot (2 \cdot G_{д} + G_{ц}) + N \cdot G_{Т} = 1.813 \times 10^8 \quad \text{Н}$$

Вес жидкости внутри корпуса при гидроиспытании

$$G_{жид} := \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H_{кр} + 2 \cdot V_{д1} \right) \cdot \rho \cdot g = 9.895 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Вес аппарата, заполненного жидкостью при гидроиспытании

$$G_{ап2} := G_{ап1} + G_{жид} = 1.814 \times 10^8 \quad \text{Н}$$

Усилия от ветровых и сейсмических нагрузок

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. име. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Список обозначений

Высота цилиндрической части корпуса, м	H_k
Внутренний диаметр корпуса, м	D
Высота i -го участка аппарата, м	h_i
Высота центра массы участка от фундамента, м	x_i
Вес i -го участка аппарата, Н	G_i
Вес пустого аппарата, Н	$G_{ап1}$
Вес аппарата при гидравлических испытаниях, Н	$G_{ап2}$
Момент инерции верхнего основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси, m^4	I
Толщина стенки обечайки, м	$s_{тр}$
Прибавка на коррозию к толщине стенки, м	c
Период собственных колебаний аппарата, с	T_{min}, T_{max}
Модуль продольной упругости материала обечайки, МПа	E
Коэффициент неравномерности сжатия грунта, H/m^3	CF
Минимальный момент инерции подошвы фундамента, m^4	I_F
Нормативное значение ветрового давления, H/m^2	q_0
Коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте аппарата	Θ_i
Аэродинамический коэффициент	K
Средняя составляющая ветровой нагрузки, H/m^2	$q_{ист}$
Коэффициент динамичности для периода собственных колебаний аппарата	ξ_i
Безразмерный параметр, зависящий от периода собственных колебаний аппарата	ϵ_i
Коэффициент давления ветра для середины участка аппарата	m_i

Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Коэффициент увеличения скорости напора	β_i
Сила от ветровой нагрузки, Н	P_i
Изгибающий момент от ветровой нагрузки на аппарат относительно основания при максимальной силе тяжести аппарата, Н*м	M_{B_max}
Изгибающий момент от ветровой нагрузки на аппарат относительно основания при минимальной силе тяжести аппарата, Н*м	M_{B_min}
Коэффициент, зависящий от диаметра аппарата	k_0
Внутренний расчетный диаметр кольца, м	D_1
Наружный расчетный диаметр кольца, м	D_3
Опорная площадь кольца, м ²	F_k
Ширина фундаментного кольца, м	L_ϕ
Момент инерций фундаментного кольца, м ⁴	I_k
Момент инерций подошвы фундамента относительно центральной оси, м ⁴	I_ϕ
Момент сопротивления изгибу опорной площадки кольца, м ³	W_k
Максимальное напряжение сжатие на опорной поверхности опорного кольца, Па	σ_{max}
Допускаемая удельная нагрузка на опорной бетона, Па	q_d
Временное сопротивление материала опорной обечайки, Па	σ_B
Предел выносливости, Па	σ_{-1}
Выступающая часть опорного кольца, м	l
Толщина опорного кольца, м	s_k
Минимальное напряжение сжатие на опорной поверхности опорного кольца, Па	σ_{min}
Число фундаментных болтов	n_6
Нагрузка на наиболее нагруженный болт, Н	P_6
Допускаемое напряжение для фундаментного болта, Па	σ_6
Внутренний диаметр резьбы фундаментного болта из условия прочности на растяжение, м	d_0
Исполнительный диаметр резьбы фундаментного болта, м	d_6
Площадь опасного сечения сварного шва, м ²	f_c
Момент сопротивления сварного шва изгибу, м ³	W_c
Напряжение в сплошном сварном шве, крепящим корпус аппарата к цилиндрической опорной части, Па	σ_c

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

При значении H_k/D более 5 в качестве расчетной динамической модели принимают консольный упругозащемленный прямолинейный стержень переменного кольцевого сечения с массами, сосредоточенными в серединах участков.

$$\frac{H_k}{D} = 0.02$$

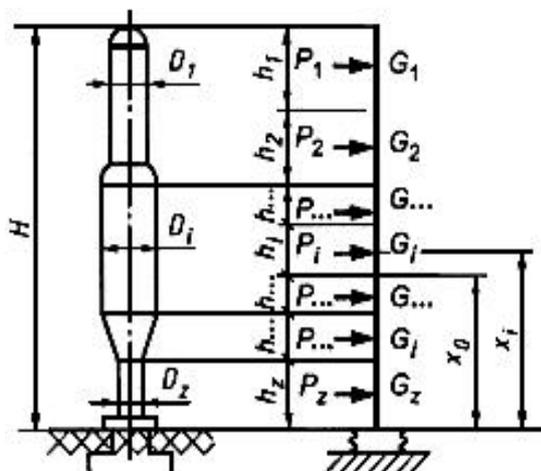


Рисунок 11 - Схема разбивки аппарата на участки при расчете его на ветровую нагрузку

Исходные данные:

Все расчетные сечения и высоты выбираются в соответствии с расчетной схемой, рис.1.

Количество участков $R_i := 6$

Высота колонны - $H_k := 60$ м;

Высоту опоры - $H_{ап} := 4$ м.

Делим колонну на 6 участков :

$$\begin{aligned} h_1 &:= 10 \text{ м} & h_4 &:= 10 \text{ м} \\ h_2 &:= 10 \text{ м} & h_5 &:= 10 \text{ м} \\ h_3 &:= 10 \text{ м} & h_6 &:= 10 \text{ м} \end{aligned}$$

Высота центров масс разбитых участков от фундамента :

$$x_6 = \frac{h_6}{2} = 5 \text{ м}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						118

$$x_5 = h_6 + \frac{h_5}{2} = 15 \text{ м}$$

$$x_4 = h_6 + h_5 + \frac{h_4}{2} = 25 \text{ м}$$

$$x_3 = h_6 + h_5 + h_4 + \frac{h_3}{2} = 35 \text{ м}$$

$$x_2 = h_6 + h_5 + h_4 + h_3 + \frac{h_2}{2} = 45 \text{ м}$$

$$x_1 = h_6 + h_5 + h_4 + h_3 + h_2 + \frac{h_1}{2} = 55 \text{ м}$$

Расчетные сечения выбирают в местах расположения патрубков:

Для места расположения штуцера отвода паров дистиллята

$$x_{r1} = 0 \text{ м}$$

Для места расположения штуцера подвода флегмы

$$x_{r2} = 2 \text{ м}$$

Для места расположения люка-лаза

$$x_{r3} = 4 \text{ м}$$

Для места расположения штуцера подвода исходной смеси

$$x_{r4} = 39 \text{ м}$$

Для места расположения штуцера отвода кубового остатка

$$x_{r5} = 58 \text{ м}$$

Определение периода собственных колебаний

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	

Модуль упругости:

$$E := 1.948 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := 0.002 \text{ м}$$

Момент инерции верхнего основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси:

$$I := \left(\frac{\pi \cdot D^3}{8} \right) \cdot (s_1 - c) = 265.051 \text{ м}^4$$

Минимальный период собственных колебаний (пустой аппарат)

$$T_{\min} := 1.79 \cdot H_{\text{ап}} \cdot \sqrt{\left(\frac{G_{\text{ап1}}}{g} \right) \cdot \frac{H_{\text{ап}}}{E \cdot I}} = 8.568 \text{ с}$$

Максимальный период собственных колебаний:

$$T_{\max} := 1.79 \cdot H_{\text{ап}} \cdot \sqrt{\left(\frac{G_{\text{ап2}}}{g} \right) \cdot \frac{H_{\text{ап}}}{E \cdot I}} = 8.571 \text{ с}$$



Рисунок 12- Карта с указанием географических районов для определения скоростных напоров ветра

Толщина стенки аппарата, в месте соприкосновения с опорой :

$$s_{\text{СТ}} := s = 22 \quad \text{м}$$

Наружный диаметр участка:

$$D_{\text{нар}} := D + 2 \cdot s_{\text{СТ}} = 47 \quad \text{м}$$

Статическая составляющая ветровой нагрузки на каждом участке :

$$P_{1\text{СТ}} := q_{1\text{СТ}} \cdot D_{\text{нар}} \cdot h_1 = 1.987 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$$

$$P_{2\text{СТ}} := q_{2\text{СТ}} \cdot D_{\text{нар}} \cdot h_2 = 1.863 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$$

$$P_{3\text{СТ}} := q_{3\text{СТ}} \cdot D_{\text{нар}} \cdot h_3 = 1.719 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$$

$$P_{4\text{СТ}} := q_{4\text{СТ}} \cdot D_{\text{нар}} \cdot h_4 = 1.544 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$$

$$P_{5\text{СТ}} := q_{5\text{СТ}} \cdot D_{\text{нар}} \cdot h_5 = 1.311 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$$

$$P_{6\text{СТ}} := q_{6\text{СТ}} \cdot D_{\text{нар}} \cdot h_6 = 9.224 \times 10^4 \text{ Н/м}^2$$

Коэффициент динамичности:

При минимальном периоде собственного колебания:

$$\epsilon_1 := T_{\text{min}} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 0.203$$

$$\xi_1 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \epsilon_1} = 2.873$$

При максимальном периоде собственного колебания:

$$\epsilon_2 := T_{\text{max}} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 0.203$$

$$\xi_2 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \epsilon_2} = 2.874$$

Коэффициент пульсаций скоростного напора:

$$m_1 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_1}{10} \right)^{-0.15} = 0.589$$

$$m_2 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_2}{10} \right)^{-0.15} = 0.607$$

$$m_3 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_3}{10} \right)^{-0.15} = 0.63$$

$$m_4 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_4}{10} \right)^{-0.15} = 0.662$$

$$m_5 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_5}{10} \right)^{-0.15} = 0.715$$

$$m_6 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_6}{10} \right)^{-0.15} = 0.843$$

Ине. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	
Ине. № подл.	
Подп. и дата	
Ине. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						122

Коэффициент увеличения скорости напора:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$\beta_1 := 1 + \xi_2 \cdot m_1 = 2.691$$

$$\beta_2 := 1 + \xi_2 \cdot m_2 = 2.743$$

$$\beta_3 := 1 + \xi_2 \cdot m_3 = 2.81$$

$$\beta_4 := 1 + \xi_2 \cdot m_4 = 2.904$$

$$\beta_5 := 1 + \xi_2 \cdot m_5 = 3.055$$

$$\beta_6 := 1 + \xi_2 \cdot m_6 = 3.423$$

При минимальной силе тяжести аппарата:

$$\beta_{11} := 1 + \xi_1 \cdot m_1 = 2.691$$

$$\beta_{22} := 1 + \xi_1 \cdot m_2 = 2.743$$

$$\beta_{33} := 1 + \xi_1 \cdot m_3 = 2.81$$

$$\beta_{44} := 1 + \xi_1 \cdot m_4 = 2.903$$

$$\beta_{55} := 1 + \xi_1 \cdot m_5 = 3.055$$

$$\beta_{66} := 1 + \xi_1 \cdot m_6 = 3.423$$

$$P_1 := 0.6 \cdot \beta_1 \cdot D \cdot q_{1CT} \cdot x_1 = 1.126 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$P_2 := 0.6 \cdot \beta_2 \cdot D \cdot q_{2CT} \cdot x_2 = 8.808 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_3 := 0.6 \cdot \beta_3 \cdot D \cdot q_{3CT} \cdot x_3 = 6.476 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_4 := 0.6 \cdot \beta_4 \cdot D \cdot q_{4CT} \cdot x_4 = 4.292 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_5 := 0.6 \cdot \beta_5 \cdot D \cdot q_{5CT} \cdot x_5 = 2.301 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_6 := 0.6 \cdot \beta_6 \cdot D \cdot q_{6CT} \cdot x_6 = 6.047 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

При минимальном весе аппарата:

$$P_{11} := 0.6 \cdot \beta_{11} \cdot D \cdot q_{1CT} \cdot x_1 = 1.126 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$P_{22} := 0.6 \cdot \beta_{22} \cdot D \cdot q_{2CT} \cdot x_2 = 8.808 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_{33} := 0.6 \cdot \beta_{33} \cdot D \cdot q_{3CT} \cdot x_3 = 6.475 \times 10^4$$

$$P_{44} := 0.6 \cdot \beta_{44} \cdot D \cdot q_{4CT} \cdot x_4 = 4.292 \times 10^4$$

$$P_{55} := 0.6 \cdot \beta_{55} \cdot D \cdot q_{5CT} \cdot x_5 = 2.301 \times 10^4$$

$$P_{66} := 0.6 \cdot \beta_{66} \cdot D \cdot q_{6CT} \cdot x_6 = 6.046 \times 10^3$$

Изгибающий момент от ветровой нагрузки на аппарат относительно основания при максимальной силе тяжести аппарата:

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

123

$$M_{B1} := P_1 \cdot x_1 = 6.195 \times 10^6 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B2} := P_2 \cdot x_2 = 3.964 \times 10^6 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B3} := P_3 \cdot x_3 = 2.267 \times 10^6 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B4} := P_4 \cdot x_4 = 1.073 \times 10^6 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B5} := P_5 \cdot x_5 = 3.451 \times 10^5 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B6} := P_6 \cdot x_6 = 3.023 \times 10^4 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B_max} := M_{B1} + M_{B2} + M_{B3} + M_{B4} + M_{B5} + M_{B6} = 1.387 \times 10^7 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

При минимальной силе тяжести аппарата:

$$M_{B11} := P_{11} \cdot x_1 = 6.194 \times 10^6 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B22} := P_{22} \cdot x_2 = 3.963 \times 10^6 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B33} := P_{33} \cdot x_3 = 2.266 \times 10^6 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B44} := P_{44} \cdot x_4 = 1.073 \times 10^6 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B55} := P_{55} \cdot x_5 = 3.451 \times 10^5 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B66} := P_{66} \cdot x_6 = 3.023 \times 10^4 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{B_min} := M_{B11} + M_{B22} + M_{B33} + M_{B44} + M_{B55} + M_{B66} = 1.387 \times 10^7 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

Расчет аппарата на сейсмическую нагрузку :

Таблица 7 - Значения сейсмического коэффициента K_c

Расчетная сейсмичность, баллы	7	8	9
K_c	0,025	0,05	0,1

Значения сейсмического коэффициента K_c согласно таблице 16:

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. инв. №
Име. № инв.	Подп. и дата
Име. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Принимаем $D_1 = 2,850$

Наружный диаметр кольца:

$$D_3 = D \cdot (1 - 1,35 \cdot k_0) = 3,608 \text{ м}$$

$$D_3 = 3,360$$

Опорная площадь кольца:

$$F_k = \left(\frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \right) = 2,487 \text{ м}^2$$

Ширина фундаментного кольца:

$$L_\phi = \left(\frac{D_3 - D_1}{2} \right) = 0,255 \text{ м}$$

Момент инерций фундаментного кольца:

$$L_k = \pi \cdot D^3 \cdot \frac{L_\phi}{8} = 2,704 \text{ м}^4$$

Момент инерций подошвы фундамента относительно центральной оси:

$$L_\phi = 1,3 \cdot L_\phi = 3,515 \text{ м}^4$$

Момент сопротивления опорной площадки кольца:

$$W_k = \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D_3^4 - D_1^4}{D_3} \right) = 1,796 \text{ м}^3$$

Максимальное напряжение сжатия на опорной поверхности опорного кольца:

$$\sigma_{max} = \frac{G_{ап2}}{F_k} + \frac{M_{сум}}{W_k} = 8,631 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Допускаемая удельная нагрузка на опорной поверхности для бетона М 250:

$$q_d = 30 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Проверка выполнения условий:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212.001 ПЗ

Усл_{расчета}

= ["НЕ требуется вносить изменения" if $\sigma_{max} \geq q_d$
"внести изменения в размеры внутреннего кольца" otherwise]

Усл_{расчета} = "НЕ требуется вносить изменения"

Временное сопротивление материала 09Г2С

$$\sigma_B = 470 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Предел выносливости:

$$\sigma_1 = 0,44 \cdot \sigma_B = 2,068 \cdot 10^8 \text{ Па}$$

Номинальная расчетная толщина опорного кольца:

$$l = \frac{D_3 - D_1}{2} = 0,255 \text{ м}$$

$$s_k = 1,71 \cdot l \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{max}}{\sigma_1}} = 0,285 \text{ м}$$

Принимаем толщину опорного кольца (конструктивно):

$$s_k = 0,30 \text{ м}$$

Принимаем толщину опорного кольца

$$s_k = \left[\begin{array}{l} s_{kp} \text{ if } s_{kp} > s + 6 \cdot 10^{-3} \\ +6 \cdot 10^{-3} \text{ otherwise} \end{array} \right]$$

$$s_k = 0,3$$

Расчет на устойчивость аппарата против опрокидывания от ветровой нагрузки:

$$\sigma_{min} = \frac{G_{ап1}}{F_k} - \frac{M_{вmax}}{W_k} = 6,518 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Коэффициент устойчивости аппарата:

$$K_y = 0,42 \cdot \frac{G_{ап2} \cdot D_3}{M_{вmax}} = 18,456$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Примем число болтов [23]

$$n_6 = 16$$

Нагрузка на наиболее нагруженный болт

$$P_6 = \sigma_{min} \cdot \frac{F_k}{n_6} = 1,013 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое напряжение для болта из стали 09Г2С

$$\sigma_6 = 184 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Внутренний диаметр резьбы фундаментного болта из условия прочности на растяжение

$$d_0 = \frac{4 \cdot |P_6|}{\pi \cdot \sigma_6} \text{ м}$$

Принимаем [24]

$$d_6 = 0,036 \text{ м}$$

Площадь опасного сечения сварного шва

$$f_c = \pi \cdot (D + 2 \cdot s) \cdot 0,7 \cdot s_k = 31,008 \text{ м}^2$$

Момент сопротивления сварного шва изгибу

$$W_c = 0,8 \cdot 0,7 \cdot s_k \cdot (D + 2 \cdot s)^2 = 371,112 \text{ м}^3$$

Напряжение в сплошном сварном шве, крепящим корпус аппарата к цилиндрической опорной части

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{max}}{F_c} + \frac{M_{vmax}}{W_c} = 2,821 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$U_{сл}$

= ["условие прочности сварного шва выполняется" if $\sigma_c \leq 0,8 \cdot \sigma_6$
"условие прочности сварного шва НЕ выполняется" otherwise]

$U_{сл} =$ "условие прочности сварного шва выполняется"

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Ине. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Проверка на устойчивость аппарата к ветровым нагрузкам:

$$\text{Пров}_{\text{устойчивости аппарата}} = \begin{cases} \text{"Аппарат устойчив"} & \text{if } K_y > 1,5 \\ \text{"Аппарат не устойчив"} & \text{if } K_y \leq 1,5 \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{устойчивости аппарата}} = \text{"Аппарат устойчив"}$$

Общая условная расчетная нагрузка на фундаментные болты:

$$P_{\sigma} = 0,785 \cdot (D_3^2 - D_1^2) \cdot \sigma = 120 \text{ МН}$$

Количество анкерных болтов (Задаем конструктивно):

$$n_{\sigma} = 16$$

Нагрузка на один болт:

$$P_{\sigma 1} = \frac{P_{\sigma}}{n_{\sigma}} = 7,5 \text{ Па}$$

Расчетный внутренний диаметр резьбы болта:

Материал для болта Сталь 09Г2С при температуре 20 градусов.

$$\sigma_{\sigma} = 196 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Расчетный диаметр болтов:

$$d_{\text{рас болт}} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\sigma 1}}{\pi \cdot \sigma_{\sigma}}} + c = 2,709 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Принимаем стандартный диаметр болта [10]:

$$M56 \times 5,5 \quad d_{\sigma} = 0,056 \text{ м}$$

$$D_2 = \begin{cases} D_2 \leftarrow D + 2 \cdot s_{\text{СТ}} + 0,12 & \text{if } d_{\sigma} < 0,03 \\ D_2 \leftarrow D + 2 \cdot s_{\text{СТ}} + 4 \cdot d_{\sigma} & \text{if } d_{\sigma} \geq 0,03 \end{cases}$$

$$D_2 = 47,136 \text{ м}$$

Расчет аппарата на сейсмическую нагрузку.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Величина сейсмической силы в середине i -го участка:

Относительные координаты центров тяжести участков:

$$\alpha_1 = \frac{x_1}{H_{ан}} = 13,75 \text{ м}$$

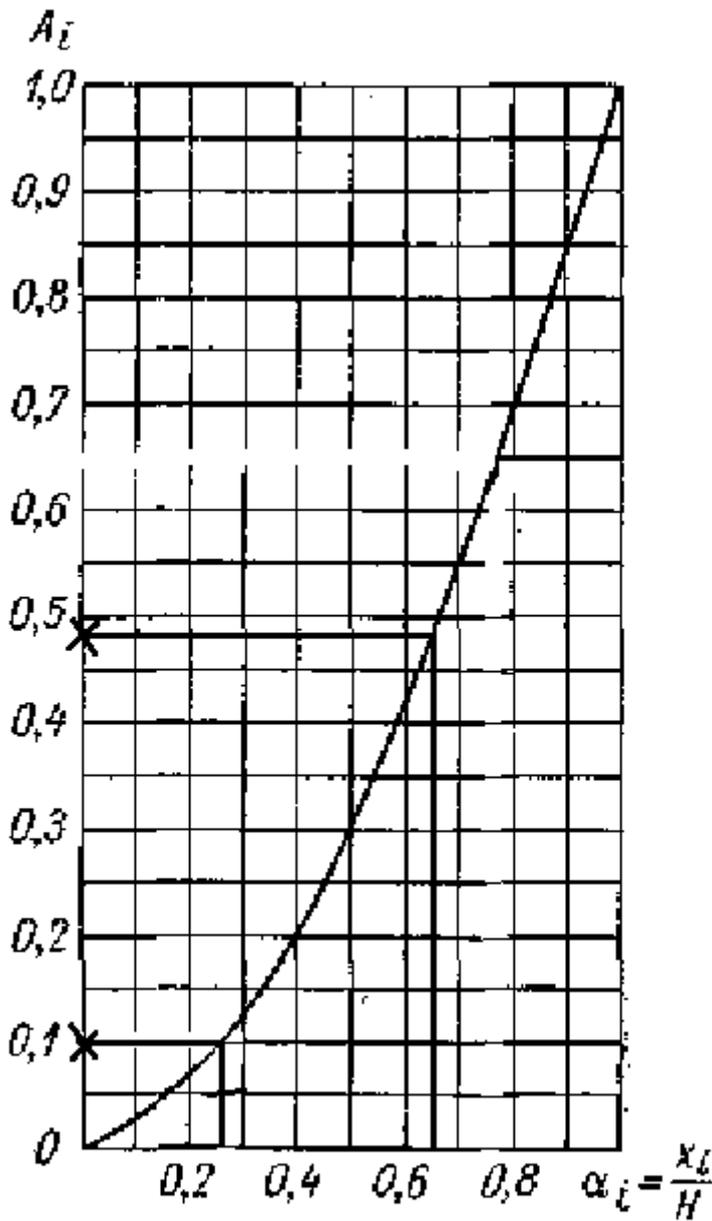
$$\alpha_2 = \frac{x_2}{H_{ан}} = 11,25 \text{ м}$$

$$\alpha_3 = \frac{x_3}{H_{ан}} = 8,75 \text{ м}$$

$$\alpha_4 = \frac{x_4}{H_{ан}} = 6,25 \text{ м}$$

$$\alpha_5 = \frac{x_5}{H_{ан}} = 3,75 \text{ м}$$

$$\alpha_6 = \frac{x_6}{H_{ан}} = 1,25 \text{ м}$$



Име. № подл	Подп. и дата	Име. № дубл.	Взам. име. №	Подп. и дата
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Рисунок 13 - График для определения параметра А

Параметр определяемый по графику:

$$A_{t1} = 0,1$$

$$A_{t2} = 0,8$$

$$A_{t3} = 0,6$$

$$A_{t4} = 0,48$$

$$A_{t5} = 0,3$$

$$A_{t6} = 0,2$$

Коэффициент неравномерного сжатия грунта:

$$C_{\phi} = 50 \cdot 10^6 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$$

$$I_{\phi} = 3,515 \text{ м}$$

Угол поворота опорном сечении определяется по формуле:

$$\varphi_{\text{пов}} = \frac{1}{C_{\phi} \cdot I_{\phi}} = 5,69 \cdot 10^{-9}$$

Относительное перемещение центров тяжести участков:

$$K_{1\text{пер}} = \frac{H_{\text{ап}}}{3 \cdot E \cdot I} \cdot A_{t1} + \varphi_{\text{пов}} \cdot \alpha_1 = 8,082 \cdot 10^{-8}$$

$$K_{2\text{пер}} = \frac{H_{\text{ап}}}{3 \cdot E \cdot I} \cdot A_{t2} + \varphi_{\text{пов}} \cdot \alpha_2 = 8,467 \cdot 10^{-8}$$

$$K_{3\text{пер}} = \frac{H_{\text{ап}}}{3 \cdot E \cdot I} \cdot A_{t3} + \varphi_{\text{пов}} \cdot \alpha_3 = 6,528 \cdot 10^{-8}$$

$$K_{4\text{пер}} = \frac{H_{\text{ап}}}{3 \cdot E \cdot I} \cdot A_{t4} + \varphi_{\text{пов}} \cdot \alpha_4 = 4,796 \cdot 10^{-8}$$

$$K_{5\text{пер}} = \frac{H_{\text{ап}}}{3 \cdot E \cdot I} \cdot A_{t5} + \varphi_{\text{пов}} \cdot \alpha_5 = 2,909 \cdot 10^{-8}$$

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата
Изм.	№ докум.
Подп.	Дат

$$K_{6\text{пер}} = \frac{H_{\text{ап}}}{3 \cdot E \cdot I} \cdot A_{t6} + \varphi_{\text{пов}} \cdot \alpha_6 = 1,228 \cdot 10^{-8}$$

Сейсмический коэффициент согласно таблице 14:

$$K_c = 0,025$$

Вес 1-го участка:

$$G_1 = 3,469 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$G_2 = 2,428 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

На первом участке:

$$P_{c1} = \beta_1 \cdot G_1 \cdot K_{1\text{пер}} \cdot K_c \cdot \frac{(K_{1\text{пер}} \cdot G_1 + K_{2\text{пер}} \cdot G_1)}{(K_{1\text{пер}}^2 \cdot G_1 + K_{2\text{пер}}^2 \cdot G_1)} = 2,278 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Для второго участка:

$$P_{c2} = \beta_2 \cdot G_2 \cdot K_{2\text{пер}} \cdot K_c \cdot \frac{(K_{1\text{пер}} \cdot G_2 + K_{2\text{пер}} \cdot G_2)}{(K_{1\text{пер}}^2 \cdot G_2 + K_{2\text{пер}}^2 \cdot G_2)} = 1,703 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Для третьего

$$P_{c3} = \beta_3 \cdot G_3 \cdot K_{3\text{пер}} \cdot K_c \cdot \frac{(K_{3\text{пер}} \cdot G_3 + K_{3\text{пер}} \cdot G_1)}{(K_{3\text{пер}}^2 \cdot G_3 + K_{3\text{пер}}^2 \cdot G_1)} = 1,321 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Для четвертого

$$P_{c4} = \beta_4 \cdot G_4 \cdot K_{4\text{пер}} \cdot K_c \cdot \frac{(K_{4\text{пер}} \cdot G_4 + K_{4\text{пер}} \cdot G_4)}{(K_{4\text{пер}}^2 \cdot G_4 + K_{4\text{пер}}^2 \cdot G_4)} = 1,953 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Для пятого

$$P_{c5} = \beta_5 \cdot G_5 \cdot K_{5\text{пер}} \cdot K_c \cdot \frac{(K_{5\text{пер}} \cdot G_1 + K_{5\text{пер}} \cdot G_5)}{(K_{5\text{пер}}^2 \cdot G_1 + K_{5\text{пер}}^2 \cdot G_5)} = 2,681 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Для шестого участка:

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № инв.	Лист
ФЮРА.066212.001 ПЗ						

$$P_{c6} = \beta_6 \cdot G_6 \cdot K_{\text{пер}} \cdot K_c \cdot \frac{(K_{\text{пер}} \cdot G_6 + K_{\text{пер}} \cdot G_6)}{(K_{\text{пер}}^2 \cdot G_6 + K_{\text{пер}}^2 \cdot G_6)} = 3,697 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Расчетный изгибающий момент:

$$M_c = x_1 \cdot P_{c1} + x_2 \cdot P_{c2} + x_3 \cdot P_{c3} + x_4 \cdot P_{c4} + x_5 \cdot P_{c5} + x_6 \cdot P_{c6} \\ = 1,285 \cdot 10^{32} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Суммарный расчетный изгибающий момент:

$$M_{\text{сум}} = M_c + 0,3 \cdot M_{\text{Вmax}} = 1,285 \cdot 10^{32} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Изгибающий момент от сейсмической нагрузки с учетом влияния высших форм колебаний:

$$M_{c1} = 1,25 \cdot M_c = 1,607 \cdot 10^{32} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{Условие}_{\text{сейсм}} = \left[\begin{array}{l} \text{"перерасчет не требуется" if } M_{\text{сум}} < M_{c1} \\ \text{"требуется перерасчет" otherwise} \end{array} \right]$$

$$\text{Условие}_{\text{сейсм}} = \text{"перерасчет не требуется"}$$

Аппарат сейсмически устойчив.

В соответствии с таблицей 1, АТК 24.200.04.-90 в качестве исполнительного типа опоры принимаем цилиндрическую опору тип 2, с наружными стойками под болты с максимальной приведенной нагрузкой до 8 МН

Инва. № подл.	Подп. и дата	Инва. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

133

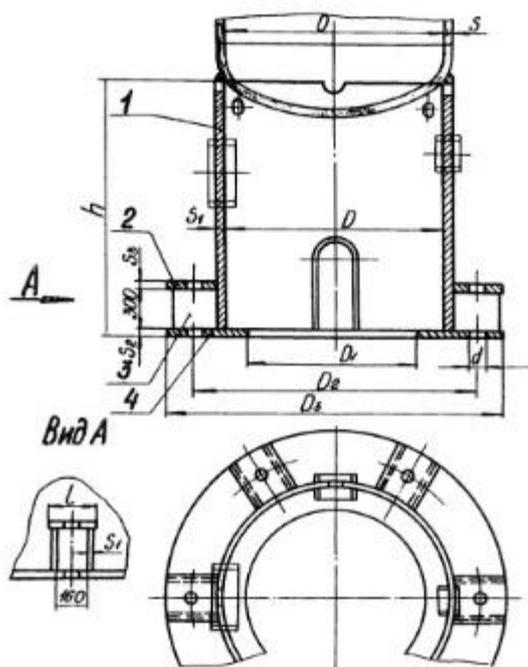


Рисунок 12 - Опора цилиндрическая с местными косынками

Вывод: Параметры опоры аппарата:

толщина опорного кольца – 36 мм;

внутренний диаметр кольца - 2,850 м;

внешний диаметр кольца - 3,360 м;

Фундаментные болты: количество - 16, диаметр - 0,056 м.

Инев. № подл.	Подп. и дата	Инев. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

4 Результаты разработки

По результатам расчета можно сделать следующие выводы :

Принимаем колонну с ситчатыми тарелками, с эллиптическими днищем и крышкой .

По результатам технологического расчета:

- внутренний диаметр колонны 3 м ;
- высота колонны 60 м;
- количество тарелок- 103;
- оптимальное флегмовое число 8,3 ;
- диаметры патрубков (таблица 4);
- тип тарелки ТС-Р2, рабочее сечение тарелки-4,520 м;
- гидравлическое сопротивление колонны- $1,827 \cdot 10^4$ Па;

Конструктивными материалами были выбраны:

- Сталь 09Г2С для обечайки , днища и крышки, для фланцев;
- 35Х для болтов;
- паронит ПОН для прокладки.

Подп. и дата											
Взам. инв. №											
Инв. № дубл.											
Подп. и дата					ФЮРА.066212.001 ПЗ						
Инв. № подл.	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	Результаты разработки		Лит	Лист	Листов	
	Студент.	Тогозбаева Д						Д	135	3	
	Руковод.	Беляев В.М.						НИ ТПУ ИШНПТ группа 4Г6Б			
	Конс.										
	Н. контр.										
	Рук.ООП	Беляев В.М.									

Таблица 8 – Результаты механического расчета :

Деталь	Условия	Параметр	Расчетное (принятое) значение	Допускаемое значение
Цилиндрическая обечайка	Внутреннее давление	Толщина стенки, мм	22	20
	Рабочие условия, внутреннее давление	Внутреннее Давление, МПа	2	2,47
		Осевое сжимающее усилие, МН	14,137	82,262
	Условия испытаний, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	2,627	3,248
		Осевое сжимающее усилие, МН	18,572	119,932
	Эллиптически е Крышка Днище	Внутреннее давление	Толщина стенки, мм	18,9
Рабочие условия, внутреннее давление		Внутреннее Давление, МПа	2	2,478
		Условия испытаний, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	2,627

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Инд. № инв.	Подп. и дата
Инд. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Продолжение таблицы 8

Фланцевые соединения	Затяжка	Напряжение на болтах, МПа	61,22	230
			106,111	
			84,933	
			131,389	
	Рабочие условия	Напряжение на болтах, МПа	170	186,6
			7,875	
			10,244	
			8,051	
			11,811	
			2,544	
Фланцевые соединения	Рабочие условия	Давление на прокладку, МПа	17,111	130
			18,823	
			16,221	
			55,15	
Опорная обечайка	Рабочие условия	Нагрузка на болты, МН	70,211	8 МН
			7,5	

Инь. № подл.	Инь. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.066212.001 ПЗ

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для определения потребителей результатов исследования необходимо провести анализ целевого рынка и его сегментирование. Продуктом данной бакалаврской работы является тарельчатая ректификационная колонна. Тарельчатые ректификационные колонны являются одними из самых распространенных в России, так как, согласно [17] около 30% аппаратов, изготавливаемых ректификации, представляют собой тарельчатые

ФЮРА.0662 12.001 ПЗ

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
Студент.		Тогузбаева Д.		
Руковод.		Беяев В.М.		
Конс.				
Н. контр.				
Рук.ООП		Беяев В.М.		

Финансовый менеджмент,
ресурсоэффективность и
ресурсосбережение

Лит	Лист	Листов
Д	138	23

НИ ТПУ ИШНПТ
группа 4Г6Б

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Инв. № подл

ректификационные колонны. Целевым рынком являются:
 ПАО «Нижнекамскнефтехим», ООО «Самараоргсинтез», ОАО «Салаватнефтео
 ргсинтез». Областью применения аппаратов данного типа является
 нефтегазовая, химическая, пищевая промышленности и т.д

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Таблица 5.5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Производительность	0,12	5	4	0,60	0,48
2. Ремонтпригодность	0,08	5	4	0,40	0,32
3. Надежность	0,1	5	4	0,50	0,40
4. Безопасность	0,08	5	5	0,40	0,40
5. Простота эксплуатации	0,08	5	4	0,40	0,32
6. Уровень шума	0,06	4	4	0,24	0,24
7. Доступность запасных частей	0,08	5	5	0,40	0,40
8. Габариты	0,1	4	5	0,40	0,50
9. Удобство в эксплуатации	0,1	5	5	0,50	0,50

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

139

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

1. Цена	0,1	5	4	0,50	0,4
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,01	5	5	0,50	0,50
Итого	1	53	49	4,84	4,46

B_{Φ} – Расчитанная колонна;

$B_{к1}$ – Импортная колонна1;

Конкурентоспособность вычислялась по следующей формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

Конструкция надежна, при изготовлении используются только стандартные детали – это упрощает изготовление (снижает себестоимость), ремонт (в том числе снижает затраты на него) и обслуживание.

Изучая значения, полученные в таблице, можно твердо заявить, что проектируемая ректификационная колонна предпочтительнее импортной. Производительность проектируемой колонны выше, в связи с введением более новых технологий, надежность аппарата значительно выше, использование отечественной стали практически устраняет вопрос о проблеме загрязнения колонны, её коррозии и выхода из строя из-за нее. Расчитанная ректификационная колонна проста в ремонте и эксплуатации, цена, с учетом производительности, ниже, чем на импортную колонну.

Инь. № подл.	Подп. и дата
Инь. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

114

00

5.1.3 SWOT – анализ

SWOT-анализ – определение сильных и слабых сторон, возможностей и угроз проекта и является комплексным анализом научно-исследовательской работы, который применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT – анализ состоит из трех этапов. В первом этапе мы анализируем сильные и слабые стороны исследовательской работы (внутренняя среда), а также возможности и угрозы (внешняя среда). Описание выполняется с помощью факторов, не имеющих количественной оценки

Таблица 5.6 – SWOT-анализ проекта

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области.</p> <p>С2. Актуальность проекта</p> <p>С3. Использование новых автоматизированных технологий.</p> <p>С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность.</p> <p>С5. Высокое качество продукции, соответствующее мировым стандартам.</p> <p>С6. Простота ремонта и обслуживания.</p> <p>С7. Экологический аспект идеи проекта.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Невозможность провести испытания.</p> <p>Сл2. Большое количество материала для изготовления аппарата.</p> <p>Сл3. Уменьшение размеров аппарата при неизменной производительности.</p>
--	--	---

Инт. № подл.	Подп. и дата
Инт. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Инт. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

<p>Возможности:</p> <p>В1. Постоянное повышение квалификации персонала</p> <p>В2. Дополнительный спрос на результаты расчетов</p> <p>В3. Выход на всероссийский и международный рынок.</p>	<p>Постоянное повышение квалификации персонала положительно скажется на эксплуатации аппарата персоналом, внедрении возможных модификаций в конструкцию, получение продукта высокого качества, привлечение более экономичных и энергоэффективных решений</p> <p>- Исключение поломок оборудования в результате сбоев в электроснабжении</p>	<p>Выход на всероссийский и международный рынок повлечет за собой необходимость развития широкой логистической сети по подаче сырья и транспортировке продукта, так же, в результате выхода на мировую арену вырастет спрос на результаты расчетов</p>
---	---	--

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление новых конкурентов</p> <p>У2. Риск невозможности импорта товаров из-за введения секторальных санкций</p> <p>У3. Модификация уже существующих технологий</p>	<p>Появление новых конкурентов и риск невозможности импорта товаров из-за введения секторальных санкций может негативно сказаться на желании квалифицированного специалиста работать на предприятии, а так же модификация уже существующих технологий может подорвать компетентность некоторых специалистов.</p>	<p>Риск невозможности импорта из-за введения секторальных санкций может отбросить необходимость развития широкой логистической сети по подаче сырья и транспортировки продукта, а также поставить под угрозу поставки материалов, которые по свойствам могут превосходить отечественные</p>
---	--	---

Построим интерактивную матрицу проекта

Таблица 5.7 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	V1	+	-	+	+	+
	V2	+	+	+	+	-
	V3	+	-	-	+	+

Инва. № подл. Подп. и дата

Инва. № дубл. Подп. и дата

Взам. инв. № Подп. и дата

Инва. № подл. Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта а		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	+	+	-
	У2	-	-	-	-	-
	У3	+	-	0	-	0
	У4	-	+	0	-	-

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	-	0	-
	В2	-	+	-
	В3	-	+	-

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта а		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	-
	У2	-	0	-
	У3	-	+	+
	У4	-	+	-

SWOT-анализ показывает, что для увеличения конкурентоспособности продукта, необходимо осуществить переход на отечественное оборудование, поддерживать технологии, соответствующие современным запросам, а так же, в перспективе способные привлечь покупателей из-за рубежа.

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

143

Инь. № подл.	Подп. и дата
Инь. № дубл.	Инь. инв. №
Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для планирования комплекса предполагаемых работ необходимо выполнить следующие шаги:

- определить структуру работ в рамках изучаемого научного исследования;
- определить участников всех имеющихся работ;
- определить необходимую продолжительность работ;
- построить график проведения научного исследования.

Для выполнения бакалаврской работы была сформирована рабочая группа, в состав которой входят инженер и научный руководитель. Первичная последовательность составления этапов и работ, распределение имеющихся исполнителей по видам работ, необходимых к выполнению, представлен в таблице 5.8

Таблица 5.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

144

Ине. № подп.	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Продолжение таблицы 5.8

	5	Календарное планирование работ	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснование	Инженер
	7	Утверждение лучшего результата	Научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Инженер
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка чертежа аппарата в среде AutoCad	Инженер
	11	Проверка чертежей	Научный руководитель
Оформление отчета по исследовательской работе	12	Оформление пояснительной записки и чертежей аппарата	Инженер

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования

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 $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (5.2)$$

Ине. № подл.	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

где $t_{ожi}$ – 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.

Данное значение необходимо для расчета заработной платы работников с учетом вклада исполнителей в работу, т.е. с учетом продолжительности каждого задания T_{pi} , раб. дн.:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.3)$$

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

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

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

При выполнении дипломных работ студенты становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. 44 Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot K_{кал}, \quad (5.4)$$

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

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

$K_{кал}$ – коэффициент календарности.

Инва. № подл.	Подп. и дата
Инва. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5.5)$$

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 92 - 26} = 1,49.$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Временные показатели проведения работы

Номер работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{ri}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{\min} , Чел-дни	t_{\max} , Чел-дни	$t_{\text{ож}}$, Чел-дни			
1	1	1	1	Руководитель	1	1
2	4	9	6	Инженер	6	8

Изн. № подл.	Подп. и дата
Изн. № дубл.	Взам. изв. №
Изн. № инв. №	Подп. и дата
Изн. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

5	4	8	6	Инженер	6	8
6	12	21	16	Инженер	16	23
7	1	1	1	Руководитель	1	1
8	1	1	1	Руководитель, Инженер	1	1
9	4	7	5	Инженер	5	7
10	13	18	9	Инженер	9	13
11	1	1	1	Руководитель	1	1
12	16	20	18	Инженер	18	26

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Итого	62	96	71		71	98
-------	----	----	----	--	----	----

На основе таблицы 5.9 строим план график, представленный в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Календарный план график проведения НИР по теме

№	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление технического задания	Рук-ль	1														
2	Изучение материалов	Ин-р	8														
3	Проведение патентных исследований	Ин-р	8														
4	Выбор направления исследований	Рук-ль, Ин-р	1														
5	Планирование работ	Ин-р	8														

Инв. № подл. Подп. и дата
 Инв. № дубл. Подп. и дата
 Инв. № инв. № Подп. и дата
 Взам. инв. №

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Продолжение таблицы 5.10

6	Проведение расчётов	Ин-р	23																
7	Утверждение результатов	Рук-ль, Ин-р	1																
8	Оценка полученных результатов	Рук-ль, Ин-р	1																
9	Целесообразность ВКР	Ин-р	7																
10	Разработка чертежей	Ин-р	13																
11	Проверка чертежей	Рук-ль	1																
12	Составление ПЗ и оформление чертежей	Ин-р	26																



- руководитель



- инженер

5.3 Бюджет научно-технического исследования

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Инь. № дубл.	Инь. № инв. №	Подп. и дата
Инь. № пооб	Подп. и дата	Подп. и дата
Ли	Изм.	№ докум.
Подп.	Дат	

группировка затрат по статьям:

1. материальные затраты НТИ;
2. затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
3. основная заработная плата исполнителей темы;
4. дополнительная заработная плата исполнителей темы;
5. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
6. накладные расходы.

5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблица 5.11

Таблица 5.11 – Материальные затраты

Оборудование	Количество, шт.	Цена за шт., руб.	Стоимость комплекта, руб.
<u>Канцелярский набор STAFF Минидеск</u>	2	250	500
Картридж для лазерного принтера HP 18A (CF218A)	1	5330	5330
CD-диск VS CD-RW 700 Мб	2	95	190
Транспортно-заготовительные расходы, руб. - 500			
			Итого: 6020

5.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов. При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ноутбук HP. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Таблица 1 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Ноутбук HP 15-bs136ur 7JZ68EA	1	3	25450	25450
Итого		25450 тыс. руб.			

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot t,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

t – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0.33 \cdot 25450}{12} \cdot 3 = 2099,63$$

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Основная заработная плата инженера и руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

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;

Иньв. № подл.	Подп. и дата	Иньв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

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 5.12 – Заработная плата

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное количество дней	365	365
Количество не рабочих дней: - выходные дни - праздничные дни	66	118
Потери рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	48	24
Действительный фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад исполняющего работу:

$$Z_M = Z_{OK} \cdot k_P,$$

где Z_{OK} – оклад, руб.;

k_P – районный коэффициент города Томска, равный 1,3.

Оклад руководителя (преподавателя ТПУ) с учетом должности доцента и степени кандидата технических наук составляет 33664 руб., а инженера в роли студента 9489 руб.

Таблица 5.14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_{OK} , руб.	$k_{PЗ}$	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_P , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	33664	1,3	43763,2	1813,3	5	9066,5
Инженер	9489		12335,7	575,3	66	37969,8
Итого:						47036,3

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

154

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Инв. № подл.

Ли Изм. № докум. Подп. Дат

Основная заработная плата рабочих:

- при 5 рабочих днях руководителя: 9066,5 руб.;

- при 66 рабочих днях инженера: 37969,8 руб.

5.3.4 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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (5.11)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15).

Дополнительная заработная плата для руководителя составляет 1178,6 руб., а для инженера 4814,7 руб.

Итоговая заработная плата:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

Для руководителя 1359,97 руб., а для инженера 5695,47руб.

5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам

Инва. № подл.	Подп. и дата	Инва. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.066212.001 ПЗ

государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 5.15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб	Дополнительная заработная плата, тыс. руб
Руководитель	9066,5	1359,97
Инженер	37969,8	5695,47
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%	
Итого:	16227,522	

5.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \left(\text{сумма предыдущих статей} \right) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (5.13)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						156

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.

Таблица 5.16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	6020
2. Амортизация оборудования	2099
3. Затраты по основной заработной плате	47036,3
4. Затраты по дополнительной заработной плате	7055,44
5. Отчисления во внебюджетные фонды	16227,522
6. Накладные расходы	12550,22
7. Бюджет затрат НТИ	90989,11

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный

Иньв. № подл.	Подп. и дата
Иньв. № дубл.	Взам. инв. №
Иньв. № инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (5.14)$$

где $I_{финр}^{испi}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{финр}^P = \frac{90989,11}{123540,3} = 0.74$$

$$I_{финр}^{A1} = \frac{338566,2}{338566,2} = 1$$

Все результаты расчетов сводим в таблицу.

Таблица 5.17 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	P	A.1
1. Безопасность	0,2	4	5
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	3
3. Срок службы	0,2	5	4
4. Ремонтопригодность	0,15	4	5

Продолжение таблицы 5.17

5. Надёжность	0,25	4	4
6. Материалоёмкость	0,1	5	3
Итого:	1	4,5	4

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{p.исп} = \sum a_i \cdot b_i$$

Соответственно:

$$I_{p.P} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,4 ;$$

$$I_{p.A1} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 = 4,15 ;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_P = \frac{I_{p.P}}{I_{финр}^P} = \frac{4,4}{0,8} = 5,5 \quad (5.16)$$

$$I_{A1} = \frac{I_{A1}}{I_{финр}^{A1}} = \frac{4,15}{1} = 4,15,$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_P}{I_{A1}}, \quad (5.17)$$

Все результаты внесены в таблицу.

Таблица 5.18 – Сравнительная эффективность разработки

Инва. № подл.
Подп. и дата
Инва. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инва. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инва. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

№ п/п	Показатели	P	A1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,4	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	5,5	4,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,82

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 98 дней.

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 90989,11руб.

4. Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,74, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами.

Анализируя проделанную работу в данном разделе, можно сделать вывод, что разрабатываемый аппарат является самым удачным по сравнению с аналогом, достигается максимальная эффективность проектируемого аппарата. В данном исполнении достигается максимально оптимальное обеспечение материалами и необходимым спецоборудованием. В результате расчетов

Ине. № подл	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

160

становится понятно, что продукт конкурентоспособен в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Инва. № подл.	Подп. и дата	Инва. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						161
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат		

6 Социальная ответственность

Объектом исследования в данной выпускной квалификационной работе является ректификационная колонна для разделения пропан-пропиленовой смеси.

На разрабатываемой рабочей площадке (цех) будет располагаться следующее оборудование: ректификационная колонна, насосы, конденсаторы и подогреватели. Данное оборудование и его эксплуатация создает опасные и вредные факторы. При работе с представленным оборудованием необходимо строго соблюдать технику безопасности, должны применяться всевозможные меры для обеспечения безопасных условий труда для рабочего персонала.

Данный раздел выпускной квалификационной работы предусматривает собой анализ условий труда, выявление вредных и опасных факторов, определение порядка проведения мероприятий по технике безопасности, мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте сотрудников предприятия.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Все рабочие и служащие, поступающие на работу, подлежат предварительному медицинскому освидетельствованию. Все трудящиеся на рабочих местах, где возможно присутствие в воздухе рабочей зоны вредных газов и паров, а также возможен непосредственный контакт с опасными

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Социальная ответственность

Лит	Лист	Листов
Д	162	12

**НИ ТПУ ИШНПТ
группа 4Г6Б**

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата					
Студент		Тогоузбаева Д.							
Руковод.		Беляев В.М.							
Конс.									
Н. контр.									
Рук. ООП.		Беляев В.М.							

реагентами и продуктами производства, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты, спецодеждой и обувью в соответствии с нормами трудового законодательства:

В калькуляции себестоимости предусмотрена соответствующая статья затрат «Охрана труда». Допуск к работе вредными и токсичными веществами без спецодежды и других защитных средств запрещается. Средства защиты перед началом работы должны быть проверены.

Аварийный запас СИЗ определяется планом ликвидации аварий. Контроль состояния воздушной среды рабочей зоны производственных помещений осуществляется в соответствии с ГОСТ 12.1.005-76 [46, с. 1-33].

6.1.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса. Эргономические требования к производственному оборудованию должны устанавливаться его соответствие антропометрическим, физиологическим, психофизиологическим и психологическим свойствам человека и обусловленным этими свойствами гигиеническим требованиям с целью сохранения здоровья человека и достижения высокой эффективности труда, к тем его элементам, которые сопряжены с человеком при выполнении им трудовых действий в процессе эксплуатации, монтажа, ремонта, транспортирования и хранения производственного оборудования. При установлении эргономических требований к производственному оборудованию необходимо рассматривать оборудование в комплексе со средствами технологической и в необходимых случаях организационной оснастки

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Безопасность эксплуатации колонны обеспечивается надежным и верно изготовленным фундаментом под колонну, который способен выдерживать все необходимые нагрузки. Перед запуском в работу проводится осмотр основного оборудования с целью устранения возможных проблем и неполадок. Уровни физических, химических и биологических опасных и вредных производственных факторов, генерируемых производственным оборудованием в рабочую зону, а также воздействующих на работающего при непосредственном контакте с элементами конструкции, должны соответствовать требованиям безопасности, установленным нормативно-технической документацией, утвержденной в установленном порядке. Для обеспечения доступа персонала ко всему оборудованию, расположенному на различной высоте, на рабочем участке предусмотрены лестницы с перилами, в соответствии с ГОСТ 12.2.003.91.[47], а также многоуровневые сеточные полы с бортиками, во избежание падения различных инструментов или предметов с высоты. Также предусмотрена установка лестничных маршей с целью обезопасить работу обслуживающему персоналу. Необходимо обязательно предусмотреть проходы на площадке более 0,8 м в ширину. Рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении стоя. При выборе положения работающего необходимо учитывать: - физическую тяжесть работ; - размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего в процессе выполнения работ; - технологические особенности процесса выполнения работ (требуемая точность действий, характер чередования по времени пассивного наблюдения и физических действий, необходимость ведения записей и др.). На предприятии разработаны санитарные требования к территории, водоснабжению, канализации, зданиям и помещениям, оборудованию, инвентарю, тарам, сырью и технологическому процессу.

Иньв. № подл.	Подп. и дата	Иньв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

6.2 Производственная безопасность

В данном подразделе рассмотрены вредные и опасные факторы производства пропилена. Собранные данные систематизированы в таблице 1.

Таблица 1 – Опасные и вредные производственные факторы на стадии разделения пропилен-пропановой фракции [48].

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Опасный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через человека	+	+	+	Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ[49]
2. Повышенный уровень шума на рабочем месте		+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.[50]
3. Повышенный уровень вибрации		+	+	ГОСТ 26568-85 Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация [51]
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[52]
5. Пожароопасность			+	СП 12.13130.2009 определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности [53]

Иньв. № подл.	Подп. и дата
Иньв. № дубл.	Иньв. № инв. №
Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

6.2.2.1 Электробезопасность

Электронасыщенность современного производства (электрические установки, приборы, агрегаты) формирует электрическую опасность. При работе с электрическими установками на производстве, приборами в быту следует соблюдать требования электробезопасности. Они представляют собой систему организационных и технических мероприятий и средств, которые обеспечивают защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока.

Действие электрического тока на организм человека носит многообразный характер. Проходя через организм человека, электрический ток вызывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое действие тока проявляется в ожогах тела, нагреве до высокой температуры внутренних органов человека (кровеносных сосудов, сердца, мозга). Электролитическое действие тока проявляется в ожогах тела, нагреве до высокой температуры внутренних органов человека (кровеносных сосудов, сердца, мозга). Электролитическое действие тока проявляется в разложении органических жидкостей тела (воды, крови) и нарушении их физико- химического состава. Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма и сопровождается судорожными сокращениями мышц (сердца, лёгких) [54, с. 155-159].

Для спасения пострадавшего необходимо как можно быстрее освободить его от действия электрического тока, а затем оказать ему первую медицинскую помощь. Согласно ПЭУ [55, с.1-10] исследуемое рабочее место относится к помещению без повышенной электроопасности, которое характеризуется отсутствием условий, создающих повышенную и или особую опасность.

Ине. № подл.	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

166

Основные способы и средства электрозащиты:

1. изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
3. предупредительная сигнализация и блокировки;
4. использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
5. использование малых напряжений;
6. электрическое разделение сетей;
7. защитное заземление;
8. выравнивание потенциалов;
9. зануление; защитное отключение;
10. средства индивидуальной электрозащиты [55, с.1-14].

6.2.2.2 Повышенные шум и вибрация

В цехе и других производственных помещениях источниками шума являются вентиляторы и электродвигатели рабочих механизмов, уровень шума которых при установке в соответствие с техническими требованиями не должен превышать допустимых норм. Шум и вибрация являются результатом колебания тел, передаваемого непосредственно или на расстояние другим объектам. Шум и вибрация различаются частотой колебаний в секунду. Если число колебаний в секунду не превышает 16, то они воспринимаются человеком, как сотрясения и называются вибрацией. Частота колебаний от 16 до 20000 в секунду воспринимается органами слуха как шум, колебания с частотой выше этого предела не ощущаются человеком, и называются ультразвуками. Вибрация приводит к преждевременному износу деталей, механизмов, может вызвать аварию, вредно действует на сердечно-сосудистую и нервную системы организма, вызывает снижение слуха и даже стойкую глухоту, является причиной снижения работоспособности, ослабления памяти,

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

167

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

внимания, остроты зрения, что увеличивает возможность травматизма [54, с. 143-144].

В целях снижения уровня шума в производственных помещениях до допустимых значений в соответствии с СНиП 23-03-2003 [56, с.10-30]: предусмотрено:

1. установка вентагрегатов в отдельных выгороженных помещениях - венткамерах, расположенных в удаленных от рабочих мест частях здания;
2. подбор диаметров воздуховодов по средним скоростям в магистральных воздуховодах для уменьшения сопротивления сети (4 - 8 м/с);
3. плавное соединение воздуховодов с вентиляционным агрегатом при помощи переходов и гибких вставок;
4. виброизоляция вентагрегатов с помощью пружинных амортизаторов, идущих в комплекте к вентиляционным агрегатам;
5. монтаж насосов и химического оборудования беспрокладочным методом с применением установочных винтов, удаляемых после подливки;
6. подвод питания к электродвигателям по гибким кабелепроводам.

6.2.2.3 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Рациональное освещение производственных помещений, в данной работе под производственным помещением следует понимать цех, с установленным в нем оборудованием, в светлое время суток осуществляется за счет естественного освещения через оконные проемы в наружных стенах. В темное время суток применяется общее местное и комбинированное искусственное освещение. Предусмотрено

Ине. № подл	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						168

также аварийное и дежурное освещение. Рациональное освещение рабочих мест обеспечивает безопасные и здоровые условия труда. Освещение, соответствующее санитарным нормам, является главным условием гигиены труда и культуры производства. При хорошем освещении устраняется напряжение зрения, ускоряется темп работы. При недостаточном освещении глаза сильно напрягаются, темп работы снижается, снижается производительность труда. Недостаточное освещение рабочих мест отрицательно влияет на хрусталик глаза, что может привести к близорукости.

В целях сохранения работоспособности в течение рабочей смены необходимым условием является рациональное освещение помещений и рабочих мест, которое обеспечивается естественным и искусственным освещением согласно [57]. В соответствии с таблицей 1 и таблицей 2 [57] выбраны следующие разряды зрительных работ:

- технологические помещения: IV-Г;
- служебные помещения: Б-2;
- физико-химическая лаборатория: А-2;
- вентиляционные камеры: VIII-В;
- проходы, тамбуры, лестничные клетки: Ж-1, З-1, В-2;
- насосные: IV-Г.

В соответствии с разрядами зрительных работ по таблицам Е1 и Ж1 [57] приняты нормативные освещенности от 10 до 300 лк. В соответствии с рекомендацией [57] предусматриваем резервное внутреннее освещение цеха, при необходимости предусматриваем оснащение персонала средствами освещения (фонариками).

Инов. № подл.	Подп. и дата
Инов. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

6.2.2.4 Противопожарные мероприятия

В соответствии с "Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации" [58, с. 1-12], СНиП 2.04.09-84 "Пожарная автоматика зданий и сооружений" [59, с. 1-17], справочником руководителя тушения пожара (под ред. Иванникова); СНиП 2.04.01-85 "Внутренний водопровод и канализация" [60, с. 10-17], и СНиП 2.04.02-84

"Водоснабжение. Наружные сети и сооружения" [61, с. 1-7] обеспечение пожарной безопасности и пожаротушения возлагается на руководителя предприятия.

Оснащение производственных зданий и территории промплощадки первичными средствами пожаротушения и мероприятия по пожарной безопасности должны производиться в соответствии с "Приказ МЧС РФ от 18.06.2003 313 "Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03)" [62, с.1-94].

Местоположение первичных средств пожаротушения и пожарного инвентаря должно быть согласовано с органами пожарного надзора. Пожарные щиты с набором инвентаря (огнетушителями ОП-10, ОУ-5 для тушения электрооборудования, ведра, лопаты, топор), и ящиками для песка $V=1,0 \text{ м}^3$ предусматриваются на выходе из помещений и здания цеха таким образом, чтобы не препятствовать вынужденной эвакуации людей.

6.3 Экологическая безопасность

Функционирование проектируемой ректификационной колонны оказывает слабое негативное влияние на качество окружающей среды. При работе с ректификационной колонной отвод профильтрованных сточных вод необходим ввиду увеличения кубового остатка, также эти воды после фильтрации не будут влиять на окружающую среду, отходы в литосферу отсутствуют. Решения по обеспечению экологической безопасности, охрана

Име. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
-------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

170

окружающей среды достигается комплексом мероприятий, направленных на предотвращение утечек пропана, неочищенной воды и сокращение потерь от испарения. Комплекс проектных мероприятий, направленных на уменьшение воздействия объектов на окружающую среду должен включать:

1. принятие герметичных схем приема-откачки сырья, продукта;
2. обеспечение сбора утечек с оборудования в подземные дренажные емкости с дальнейшим возвратом на переработку
3. подъём на оптимальную высоту труб выбросов организованных источников для улучшения рассеивания;
4. закрытый дренаж трубопроводов и оборудования;
5. лабораторный контроль за соблюдением нормативов выбросов вредных веществ в атмосферу;

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В результате реализации принятых в ходе работы над ВКР проектных решений на производстве могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации:

1. возникновение пожара и взрыва (ввиду пожаро- и взрывоопасности разделяемой фракционной смеси жидких углеводородов);
2. возникновение производственных аварий техногенного характера (нарушение герметичности оборудования, разрыв трубопроводов);
3. природные ЧС (ввиду больших габаритных размеров, а именно высоты проектируемой колонны существует опасность возникновения ЧС под действием ветровой нагрузки и сейсмических сил).

Име. № подл	Подп. и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

171

инвентаря должно быть согласовано с органами пожарного надзора.

Последовательность и механизмы действия при пожаре приведены в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами и инструкциями [62, 63]. При возникновении пожара необходимо отключить ректификационную колонну от сети, вентиляцию, убрать огнеопасные предметы в безопасное место, одновременно, по возможности, ликвидировать очаг. Средства тушения применять с учетом того, что является источником пожара. Для тушения горячей одежды использовать воду, для горящих электроустановок - углекислые огнетушители, для тушения воспламененных установок, закрепленных штативом - асбестовое одеяло.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	ФЮРА.066212.001 ПЗ					Лист
										173
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат						

Выводы по разделу

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ и оценка вредных и опасных факторов, которые могут оказать воздействие на инженера-технолога, работающего в технологическом бюро, а также приведены рекомендации по обеспечению оптимальных условий труда и охране окружающей среды. Рассмотрены вопросы, связанные с чрезвычайными ситуациями. В результате анализа разработан ряд рекомендаций по обеспечению оптимальных условий труда и охране окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы была спроектирована и рассчитана ректификационная колонна с ситчатыми тарелками для разделения пропилен-пропановой смеси.

Был проведен технологический расчет, с помощью которого были определены основные конструктивные размеры, такие как внутренний диаметр 3 м, высота колонны 60,9 м; а также механический расчет, позволивший определить размеры деталей и проверить обеспечение механической надежности аппарата.

С помощью SWOT-анализа выявлены слабые и сильные стороны проекта и пути его улучшения. Рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации и разработан порядок действий в результате их возникновения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Регламент производства мономеров - Томскнефтехим - 1997 - с. 986.
2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. Часть 1. - М.:Химия, 1995 - С. 400.
3. Коган В.Б. Равновесия между жидкостью и паром/ В.М. Фридман, В.В. Кафаров. - Книга первая, справочное пособие. Часть 2 - Издательство "Наука", Москва, Ленинград, 1966 г. - 641 с.
4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов .- 1973 г. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
5. Динамическая вязкость газов и паров - [Электронный ресурс] - URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/gazy-raznye/dinamicheskaya-vyazkostgazov-i-parov> (дата обращения: 02.05.2017).
6. Дж. Перри Справочник инженера-химика, т. 1. Перевод с англ. под ред. акад. Жаворонкова Н.М.: Издат: "Химия" 1969 - с. 640.
7. ОСТ 26-805-73 Тарелки ситчатые колонных аппаратов. Типы и параметры. Конструкция и размеры.
8. Поверхностное натяжение, кН/м, сжиженных углеводородных газов. Этан, Пропилен, Пропан, н-Бутилен, Изобутилен, Изобутан, н-Бутан, нПентан [Электронный ресурс] - URL: <http://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/SurfaceTension/PovNatNatGas/> (дата обращения: 02.05.2017).
9. Новоселов А.Г. Справочник по молекулярной диффузии в системах газ–жидкость и жидкость–жидкость / Тишин В.Б., Дужий А.Б. [Электронный ресурс] - URL: http://chemanalytica.com/book/novyuy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/10_protsesty_i_apparaty_khimicheskikh_tekhnologiy_chast_II/7220 (дата обращения: 02.05.2017).

10. Свойства пропилена [Электронный ресурс] - URL: <http://msd.com.ua/ximiya-i-technologie-propilena/svoystva-propilena/> (дата обращения: 02.05.2017).
11. Александров И.А. Ректификационные и адсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования - 1971 - с.138.
12. Кулешев В.П. Охрана труда в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: Учебник для вузов.-М.:Химия, 1983.- 472 с.
13. Горицкий В.М. Диагностика металлов. - М.: Металургистиздат, 2004 - 408 с.
14. Фролов К.В. Требования предъявляемые к конструкционным материалам// Конструкционные материалы - 1999 - С. 37-71.
15. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник - 2-е изд., перепечатка с 1981 г. М.:ИД"Альянс", 2008.-384с.,ил.
16. ГОСТ Р 52857.1-2007 Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты
17. Беляев В. М."Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли. Ч.1.: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств". / В. М. Миронов - Томск: Изд- во Томского политехнического университета. - 2011. - 300 с.
18. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию /Г.С.Борисов, В.П.Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.:Химия, 1991. - 452 с.
19. ГОСТ Р 52857.2-2007 Нормы и методы расчета на прочность расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых днищ и крышек.
20. ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.
21. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. Часть 1. - М.:Химия, 1995 - С. 400.
22. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов.
23. ГОСТ 24306-80 Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования.
24. ГОСТ 6533-68 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов.

25. ОСТ 26-2013-83 Устройства подъемно-поворотные для крышек люков стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция и размеры.
26. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов сальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования
27. ГОСТ 12820-80 Фланцы стальные плоские приварные на 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см).
28. ОСТ 26-2000-83 Люки стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы и пределы применения.
29. ГОСТ 24755-81 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.
30. Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств / Ленинград "Машиностроение". - Ленинград : Изд-во: Ленинградское отделение, 1984. - 302 с
31. ГОСТ 24755-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.
32. ГОСТ 52857.4-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
33. СТО 0041-2004 Конструкции стальные строительные. Болтовые соединения. Проектирование и расчет
34. ГОСТ 22353-77 Болты высокопрочные класса точности В. Конструкция и размеры.
35. ГОСТ 22356-77 Болты и гайки высокопрочные и шайбы. Общие технические условия.
36. ОСТ 26-373-78 Нормы и методы расчета на прочность фланцевых соединений сосудов и аппаратов.
37. ГОСТ 481-80 Паронит и прокладки из него. Технические условия
38. ГОСТ 15180-86 Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры.

39. Коптев А.А. Фланцевые соединения: конструкции, размеры, расчёт на прочность : методические указания / сост. : В.Б. Коптева, А.А. Коптев. - Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. - 24 с.
40. ОСТ 26-805-73 Тарелки ситчатые колонных аппаратов. Типы и параметры. Конструкция и размеры.
41. Семакина О.К., Машины и аппараты химических производств: учебное пособие / Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. - 127 с.
42. ГОСТ Р 51273-99 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий.
43. Постановление Минтруда РФ от 21-03-97 14 (ред. от 12.02.2014) "Об утверждении Правил по охране труда в литейном производстве".
44. Кац М. И. Охрана труда в химической промышленности : Учебник для хим.-технол. техникумов / М. И. Кац, Л. И. Билинкис, В. С. Медведева. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Химия, 1974. - 306 с.
45. АТК 26.200.04-90 Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры.
46. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
47. ГОСТ 12.2.003.91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности
48. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М.: Стандартинформ, 2019.
49. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
50. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых,

общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 18 с.

51. ГОСТ 26568-85 Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация.
52. СНиП 23-05-95 .Естественное и искусственное освещение.
53. СП 12. 13130.2009 определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности
54. Крепша Н.В. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие для иностранных студентов / Н.В. Крепша; Национальный исследовательский Томский политехнический университет - Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2014. - 198 с.
55. Правила устройства электроустановок: ПУЭ от 01.01.2003. Общие правила.- Москва: [б.и.], 2003. - 14 с
56. Строительные нормы и правила: СНиП 23-03-2003. Защита от шума: нормативно-технический материал. - Москва: [б.и.], 2004. – 30
57. «МОДУЛЬДОМ» - строительство производственных зданий. [сайт]. URL: <http://mod-b.ru/catalog/promzd>
58. Приказ МЧС РФ от 18.06.2003 313. Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03). - 94 с.
59. СНиП 2.04.09-84 "Пожарная автоматика зданий и сооружений" Санитарные нормы. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 18 с.
60. СНиП 2.04.01-85 «Внутренний водопровод и канализация»
61. СНиП 2.04.02-84 "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения"
62. "Приказ МЧС РФ от 18.06.2003 313 "Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03)"
63. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9046058>
64. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.09-84 Пожарная автоматика зданий и сооружений.- Москва: [б.и.], 1998. - 24 с.