

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Проект ректификационной колонны непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения бинарной смеси метанол-вода</b>

УДК 66.023.23.001.63:66.066.4/.5:661.721.093.43

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Санников Никита Вадимович		

Руководитель

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

Консультант по разделу «Механический расчет оборудования»

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	Креницына З. В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

## Запланированные результаты обучения по ООП 18.03.02 в 2019 г

Наименование категории (группы)	Код и наименование компетенции выпускника программы бакалавриата
<i>Универсальные компетенции:</i>	
Системное и критическое мышление	УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
Разработка и реализация проектов	УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
Командная работа и лидерство	УК-3. Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
Коммуникация	УК-4. Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)
Межкультурное взаимодействие	УК-5. Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
Самоорганизация и саморазвитие (в т. ч. здоровьесбережение)	УК-6. Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
	УК-7. Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
Безопасность жизнедеятельности	УК-8. Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>	

<b>Наименование категории (группы)</b>	<b>Код и наименование компетенции выпускника программы бакалавриата</b>
Естественнонаучная подготовка	ОПК-1. Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов
Профессиональная методология	ОПК-2. Способен использовать математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности
Адаптация к производственным условиям	ОПК-3. Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом правовых, экономических и экологических ограничений
Инженерная и технологическая подготовка	ОПК-4. Способен обеспечивать проведение технологического процесса в соответствии с регламентом, используя технические средства для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции, и осуществляя изменение параметров технологического процесса при изменении свойств сырья
Научные исследования и разработки	ОПК-5. Способен осуществлять экспериментальные исследования и испытания по заданной методике, проводить наблюдения и измерения с учетом требований техники безопасности, обрабатывать и интерпретировать экспериментальные данные

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

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

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

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

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
4К51	Санников Никита Вадимович

Тема работы:

Проект ректификационной колонны непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения бинарной смеси метанол-вода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.02.2019 №1235/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><b>Проект ректификационной колонны непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения бинарной смеси метанол-вода.</b>  <b>Исходные данные:</b></p> <p style="text-align: center;"><math>F = 2,78 \frac{\text{кг}}{\text{с}}</math></p> <p>Содержание низкокипящего компонента (% масс):          в исходной смеси – 52 %;          в дистилляте – 95 %;</p>
---	---

	в кубовом остатке – 5 %. Смесь поступает в колонну при температуре кипения и P=0,1 МПа.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Реферат; Введение; 1 Литературный обзор; 2 Технологический расчет; 3 Тепловой расчет; 4 Механический расчет; 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 4 Социальная ответственность; Заключение; Список литературы.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Лист 1 – Общий вид колонны для разделения бинарной смеси метанол-вода А1 Лист 2 – Технологическая схема А2 Лист 3 – Экономические показатели А2
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Механический расчет оборудования	Беляев Василий Михайлович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына Зоя Васильевна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Санников Никита Вадимович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4К51	Санникову Никите Вадимовичу

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

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

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

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

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

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

--

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4К51	Санников Никита Вадимович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4К51	Санникову Никите Вадимовичу

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

Тема ВКР:

<b>Проект ректификационной колонны непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения бинарной смеси метанол-вода</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является ректификационная колонна для разделения бинарной смеси метанол-вода. Рабочая зона оператора, открытая площадка, центральный пульт управления. Область применения – “Томскнефтехим”</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Конституция Российской Федерации от 12.12.1993года. Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда» Федеральный закон №184-ФЗ «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 года. Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред. от 10.07 2012г) «Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности» Федеральный закон от 21.07.97 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» Для работников, занятых на работе с вредными или опасными условиями труда, законодатель установил сокращенную продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю (ст.92 ТК РФ, п.1 Постановления Правительства РФ от 20.11.2008 N 870 (далее Постановление N 870)).</p>

<p><b>2. Производственная безопасность:</b>  2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов  2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>1. Опасность взрыва или пожара  2. Наличие шума в рабочих помещениях  3. Работа с вредными и опасными веществами  4. Микроклимат рабочих помещений  5. Вредное влияние компьютера  Воздействие электрического тока</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Мероприятия по устранению выброса в окружающую среду отходов и вредных веществ:  1) Совершенствование технологического процесса  2) Снижение потребления энергии без увеличения количества выбросов  3) Установка дополнительных систем очисток, либо замена существующих или их усовершенствование.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>После ввода аппарата в эксплуатацию на производстве могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации:  -возникновение пожара и взрыва (ввиду пожаро- и взрывоопасности разделяемой фракционной смеси жидких углеводородов);  -возникновение производственных аварий техногенного характера (нарушение герметичности оборудования, разрыв трубопроводов);  Природные ЧС (ввиду больших габаритных размеров, а именно высоты проектируемой колонны существует опасность возникновения ЧС под действием ветровой нагрузки).  Типичная ЧС - возможность накопления в выбросах взрывоопасных примесей, содержащихся в перерабатываемом воздухе.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Санников Никита Вадимович		



## Реферат

В дипломном проекте рассчитана ректификационная колонна разделения бинарной смеси метанол-вода, с ситчатыми тарелками. Приведены расчеты основных технологических и конструктивных показателей аппарата, произведен механический расчет аппарата.

Произведен анализ и расчет технико-экономических показателей данного производства, найдена точка безубыточности для нескольких рыночных цен. Определены вредные и опасные производственные факторы, предложены способы снижения негативного воздействия на организм человека.

Дипломный проект содержит расчетно-пояснительную записку из 131 страниц текста, 27 таблиц, 34 рисунка, 25 литературных источника и графическую часть из 3 листов формата А1 и А2.

Ключевые слова: ректификация, колонна, ситчатая тарелка, метанол, тарельчатая колонна.

## Оглавление

Введение .....	12
1 Литературный обзор.....	14
2 Технологический расчет .....	17
2.1 Расчет производительности колонны по исходной смеси, дистилляту и кубовому остатку .....	17
2.2 Расчет минимального флегмового числа .....	19
2.3 Построение рабочих линий при разных значениях коэффициента избытка флегмы....	20
2.4 Определение рабочего флегмового числа.....	24
2.5 Расчет средних массовых расходов по жидкости для верхней и нижней частей колонны .....	25
2.6 Расчет средних массовых расходов пара для верхней и нижней частей колонны .....	26
2.7 Скорость пара и диаметр колонны .....	27
2.8 Расчет высота колонны .....	30
2.9 Гидравлическое сопротивление тарелок колонны.....	38
3 Тепловой расчет.....	40
4 Механический расчёт .....	43
4.1 Выбор конструкционных материалов .....	43
4.2 Механический расчёт колонны .....	43
4.3 Расчет толщины стенки (1).....	47
4.4 Расчёт торосферической крышки (2).....	48
4.5 Расчёт торосферического днища (2).....	51
4.6 Расчет и подбор штуцеров (3) .....	53
4.7 Укрепление отверстий для патрубков штуцеров (3).....	65
4.8 Прочностной расчет фланцевого соединения люка-лаза (Л).....	68
4.9 Расчёт ситчатой тарелки (7) .....	80
4.10 Расчет ветровой нагрузки .....	82
4.11 Расчетные размеры опорного кольца (8).....	93
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	96
5.1 SWOT–анализ .....	96
5.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	100
5.3 Определение трудоемкости выполнения работ.....	102
5.4 Разработка графика проведения научного исследования.....	103
5.5 Расчет затрат .....	105

5.5.1	Материальные затраты .....	106
5.5.2	Расчет амортизационных отчислений .....	107
5.5.3	Затраты на электроэнергию, потребляемую насосами .....	108
5.5.4	Основная заработная плата исполнителей темы .....	108
5.5.5	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	110
5.5.6	Отчисления во внебюджетные фонды .....	110
5.5.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	111
5.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	111
6	Социальная ответственность.....	118
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	119
6.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	119
6.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	120
6.2	Производственная безопасность .....	121
6.2.1	Выявление вредных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования.....	122
6.2.2	Анализ опасных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования.....	124
6.3	Экологическая безопасность .....	125
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	126
	Заключение.....	128
	Список используемой литературы.....	129
	Приложение А.....	131

## Введение

Ректификация – это тепло- и массообменный процесс, применяемый для разделения жидких смесей, компоненты которых различаются по температурам кипения.

Процесс осуществляется при контактировании потоков пара и жидкости, которые имеют разные составы и температуры: пар имеет более высокую температуру, чем вступающая с ним в контакт жидкость.

В результате такого взаимодействия при достаточно большом времени контакта пар и жидкость могут достичь состояния равновесия, т.е. температуры потоков станут одинаковыми, при этом их составы будут связаны уравнениями равновесия. Такая схема взаимодействия потоков известна как «теоретическая тарелка» или «теоретическая ступень контакта».

В реальных условиях равновесие уходящих из контактной зоны потоков пара и жидкости может не достигаться, в связи с чем эти потоки будут иметь разную температуру, а их составы будут определяться не только уравнениями равновесия, но и более сложными зависимостями.

Процесс ректификации может осуществляться по периодической и непрерывной схемам.

При периодической ректификации смесь разделяют на отдельные компоненты (или фракции, кипящие в определенном интервале температур) путем последовательного их отбора при изменяющихся во времени рабочих параметрах процесса.

Ректификация по непрерывной схеме позволяет одновременно получать два и более продуктов при стационарных условиях процесса.

Процесс ректификации осуществляют в аппаратах – ректификационных колоннах. Для создания потока паров в нижнюю часть колонны подводят тепло, а поток жидкости (орошения, флегмы) создают путем отвода тепла из верхней части колонны, конденсируя соответствующее количество паров.

Часть колонны, служащая для выделения низкокипящих компонентов (НК), называется концентрационной, или укрепляющей, другая часть, в которой выделяются высококипящие компоненты (ВК), называется исчерпывающей, или отгонной. Между этими основными частями колонны находится место ввода сырья (тарелка питания, секция питания, эвапорационное пространство).

Различают простые и сложные колонны.

Простые колонны обеспечивают разделение исходной смеси (сырья) на два продукта: ректификат (дистиллят) – продукт, обогащенный НКК, и кубовый остаток –

продукт, обогащенный ВКК.

Сложные ректификационные колонны разделяют исходную смесь более, чем на два продукта.

Различают сложные колонны с отбором дополнительных продуктов непосредственно из колонны в виде боковых погонов и колонны, у которых дополнительные продукты отбираются из специальных отпарных колонн или стриппинг-секций. Последний тип колонн нашел широкое применение на установках первичной перегонки нефти, каталитического крекинга и др.

На практике приходится разделять смеси бинарные, многокомпонентные и непрерывные (нефть, широкие бензиновые фракции и т.п.) для разделения бинарной смеси обычно достаточно одной простой колонны. Для разделения многокомпонентных и непрерывных смесей требуется система колонн, каждая из которых разделяет поступающую в нее смесь на соответствующие компоненты (фракции).

Основными рабочими параметрами процесса ректификации являются давление и температура в системе, соотношение потоков жидкости и пара (флегмовое число), число контактных ступеней. При соответствующем выборе этих параметров обеспечивается разделение исходной смеси на компоненты (фракции), удовлетворяющие определенным требованиям.

# 1 Литературный обзор

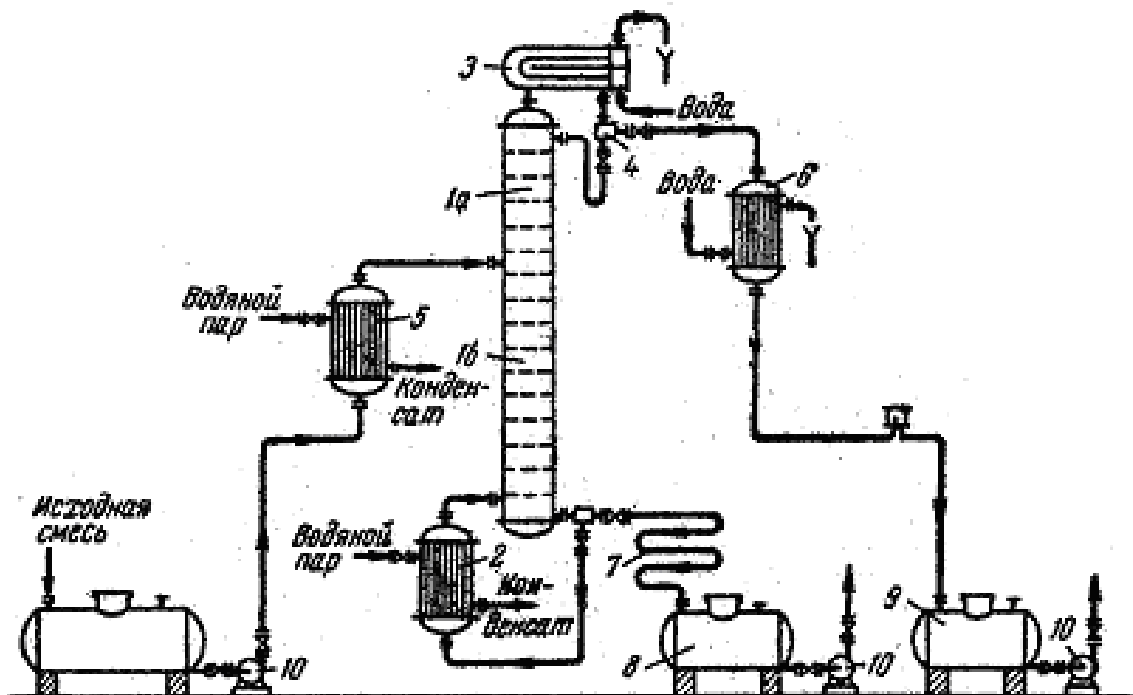


Рисунок 1 – Технологическая схема непрерывно действующей ректификационной колонны:

1 – Ректификационная колонна; 2 – кипяточный теплообменник; 3 – дефлегматор(охладитель паров до флегмы); 4 – разделитель флегмы(согласно рассчитываемому флегмовому числу); 5 – подогревательный теплообменник (для исходной смеси); 6 – холодильник-теплообменник(конденсатор); 7 – холодильник кубового остатка; 8,9 – сборники/резервуары накопители; 10 – насосная аппаратура.

Колонна 1 имеет цилиндрический корпус с установленными внутри тарелками в качестве контактных устройств (также бывают колонны заполненные насадкой). Пары по колонне движутся снизу поступая из кипятыльника 2, располагающегося вне колонны (также существуют варианты с размещением непосредственно под колонной). Пары проходят через жидкость, стекающую с последней тарелки. Допустим концентрацию жидкости на последней тарелке равной  $x_1$  (по низкокипящему компоненту (НКК)), а ее температуру  $t_1$ . Взаимодействие жидкости и пара (с более высокой температурой) заставляет частично испаряться жидкость, при этом в паровую фазу переходит в основном НКК.

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Студент	Санников Н.В.				Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Тихонов Н.В.					14	3
Конс.					Литературный обзор ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4K51		
Н. Контр.							
Руков. ООП	Беляев В.М.						

На следующую снизу тарелку следовательно поступает пар с содержанием НКК большим чем содержание его в жидкости на предыдущей (снизу) тарелки.

Испарение жидкости происходит за счёт конденсации пара. В жидкость переходит в основном высококипящий компонент (ВКК), содержание которого в поступающем на тарелку паре выше равновесного с составом жидкости на тарелке. При равном количестве теплоты испарения компонентов бинарной смеси для испарения 1 моль НКК необходимо сконденсировать 1 моль ВКК.

На второй тарелке жидкость имеет состав  $x_2$ , содержит больше НКК, чем в первой ( $x_2 > x_1$ ), значит ( $t_2 < t_1$ ). Соприкасаясь с жидкостью, пар состава  $y_1$  частично конденсируется, обогащается НКК и удаляется на вышерасположенную тарелку, при этом состав  $y_2 > x_2$ , и так далее.

Таким образом, пар, представляющий собой на выходе почти чистый ВКК, чем выше движется, тем больше обогащается НКК и покидает верхнюю тарелку колонны в виде почти чистого НКК, который почти полностью превращается в паровую фазу по пути пара от кипятильника до дефлегматора.

Далее пар конденсируется в дефлегматоре 3, охлаждаемом в основном водой, далее полученная жидкость разделяется по потокам в делителе флегмы 4, на дистиллят и флегму соответственно, флегма отправляется обратно на верхнюю (первую) тарелку колонного аппарата. Это означает, что с помощью дефлегматора 3 и делителя 4 в самой колонне создается нисходящий поток жидкости, обеспечивающий постоянность процесса.

Флегма является практически чистым НКК. Стекая по колонне и взаимодействуя с парами, жидкость более насыщается высококипящим компонентом(ВКК), который конденсируется из паров. При достижении нижней тарелки, жидкость имеет состав практически соответствующий чистому ВКК и далее продолжает путь в кипятильник, который в свою очередь греется глухим паром, или подходящим процессу теплоносителем.

На расчетную тарелку на некотором расстоянии от ввода флегмы к процессу присоединяется исходная смесь, поступающая на расчетную питающую тарелку колонны. Данная смесь нагревается перед подачей в колонну в подогревателе 5 до температуры соответствующей температуре кипения заданной смеси, данное действие снижает нагрузку на кипятильник. Питающая тарелка делит колонный аппарат на мнимые две части, так называемые укрепляющая и исчерпывающая части. В верхней части (от питающей тарелки до верха колонны) 1а обеспечивается как можно большее укрепление паров, т.е. насыщение их НКК с той целью, чтобы в дефлегматор поступали пары приближенные по составу к чистому НКК. Отсюда получается и название - укрепляющая. В нижней части (от низа колонны до тарелки питания) 1б,

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

следовательно, необходимо извлечь из жидкости максимально возможное количество НКК, т.е. исчерпать жидкость по составу затем, чтобы в кипятельную часть колонны сливалась жидкость, по составу соответствующая ВКК, эта часть колонны по той же логике была названа исчерпывающей. Дефлегматор 3 может сконденсировать непосредственно все пары или только их часть соответствующую количеству возвращаемой флегмы, соответствующей расчетному флегмовому числу.

В первом варианте та часть сконденсировавшегося пара, которая остается после отделения флегмы, является ректификатом (дистиллятом) или верхним продуктом, после охлаждения которого в холодильнике 6 отправляется на резервуар или сборник накопитель НКК 9. Во втором варианте несконденсированные в дефлегматоре пары конденсируются и подвергаются охлаждению непосредственно в холодильнике 6 в одно и то же время, при таком варианте холодильник 6 является одновременно конденсатором и холодильником НКК. Кубовый остаток (выходящий из низа колонны) также разделяется на две части, одна из которых идет в кипятыльник, оставшаяся – после охлаждения в холодильнике 7 отправится в резервуар или сборник ВКК 8. [1].

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						16
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		



## 2 Технологический расчет

### 2.1 Расчет производительности колонны по исходной смеси, дистилляту и кубовому остатку

Материальный баланс процесса ректификации состоит из двух уравнений и необходим для определения расходов дистиллята и кубового остатка.

Общее уравнение материального баланса [2, с. 228]:

$$F = P + W, \quad (1)$$

где  $F$  – массовый расход исходной смеси кг/с;

$P$  – массовый расход дистиллята кг/с;

$W$  – массовый расход кубового остатка кг/с.

Уравнение материального баланса по низкокипящему компоненту [2, с. 228]:

$$F\bar{x}_F = P\bar{x}_P + W\bar{x}_W, \quad (2)$$

где  $\bar{x}_F$  – массовая доля низкокипящего компонента в исходной смеси;

$\bar{x}_P$  – массовая доля низкокипящего компонента в дистилляте;

$\bar{x}_W$  – массовая доля низкокипящего компонента в кубовом остатке.

Выражая из уравнения (1) массовый расход дистиллята или кубового остатка и подставляя его в уравнение (2) можно определить массовый расход кубового остатка или дистиллята соответственно. Подставляя полученное значение расхода в уравнение (3) определим недостающее значение расхода.

Таким образом:

$$W = \frac{F(\bar{x}_P - \bar{x}_F)}{\bar{x}_P - \bar{x}_W} = \frac{2,78 \cdot (95 - 52)}{95 - 5} = 1,328 \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (3)$$

Подставим  $W$  в (1) и найдем  $P$ :

$$P = F - W = 2,78 - 1,328 = 1,452 \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (4)$$

Для последующих расчетов необходимо перевести массовые доли в мольные.

Пересчет осуществляется по формуле (5) [2, с. 228]:

$$x = \frac{\bar{x}/M_{\text{НК}}}{\bar{x}/M_{\text{НК}} + \frac{1-\bar{x}}{M_{\text{БК}}}} \quad (5)$$

					<b>ФЮРА.066212.001 ПЗ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Студент	Санников Н.В.					Лит.	Лист
Руковод.	Тихонов Н.В.						Листов
Конс.							17
Н. Контр.							23
Руков. ООП	Беляев В.М.				<i>Технологический расчет</i>		
					ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4К51		

где  $M_{\text{нк}}$  и  $M_{\text{вк}}$  – молярные массы низкокипящего и высококипящего компонентов соответственно, г/моль;

$x$  и  $\bar{x}$  – соответственно мольная и массовая доля низкокипящего компонента в исходной смеси, кубовом остатке или дистилляте.

Низкокипящий компонент – метанол, имеет молярную массу  $M_M=32$  г/моль, высококипящий компонент – вода, имеет молярную массу  $M_B=18$  г/моль.

Осуществляем перевод массовых долей в мольные.

Исходная смесь:

$$x_F = \frac{\bar{x}_F/M_{\text{нк}}}{\bar{x}_F/M_{\text{нк}} + \frac{100 - \bar{x}_F}{M_{\text{вк}}}} = \frac{52/32}{52/32 + \frac{100 - 52}{18}} = 0,38 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Дистиллят:

$$x_P = \frac{\bar{x}_P/M_{\text{нк}}}{\bar{x}_P/M_{\text{нк}} + \frac{100 - \bar{x}_P}{M_{\text{вк}}}} = \frac{95/32}{95/32 + \frac{100 - 95}{18}} = 0,91 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Кубовый остаток:

$$x_W = \frac{\bar{x}_W/M_{\text{нк}}}{\bar{x}_W/M_{\text{нк}} + \frac{100 - \bar{x}_W}{M_{\text{вк}}}} = \frac{5/32}{5/32 + \frac{100 - 5}{18}} = 0,03 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Необходимо построить  $t - x, y$  диаграмму заданной бинарной смеси и ее линию равновесия. Для построения этих диаграмм нужно определить равновесные составы паровой и жидкой фаз разделяемой смеси.

Таблица 2.1 – Равновесные составы паровой и жидкой фаз смеси метанол – вода [3, с. 543]

$t, ^\circ\text{C}$	% мол. метанола в жидкости	% мол. метанола в паре
100	0	0
96,4	2	13,4
93,5	4	23
91,2	6	30,4
87,7	10	41,8
81,7	20	57,9
78	30	65,5
75,3	40	72,9
73,1	50	77,9
71,2	60	82,5
69,3	70	87

Продолжение таблицы 2.1

t, °C	% мол. метанола в жидкости	% мол. метанола в паре
67,5	80	91,5
66	90	95,8
64,5	100	100

По данным таблицы 2.1 построим диаграмму x,y:

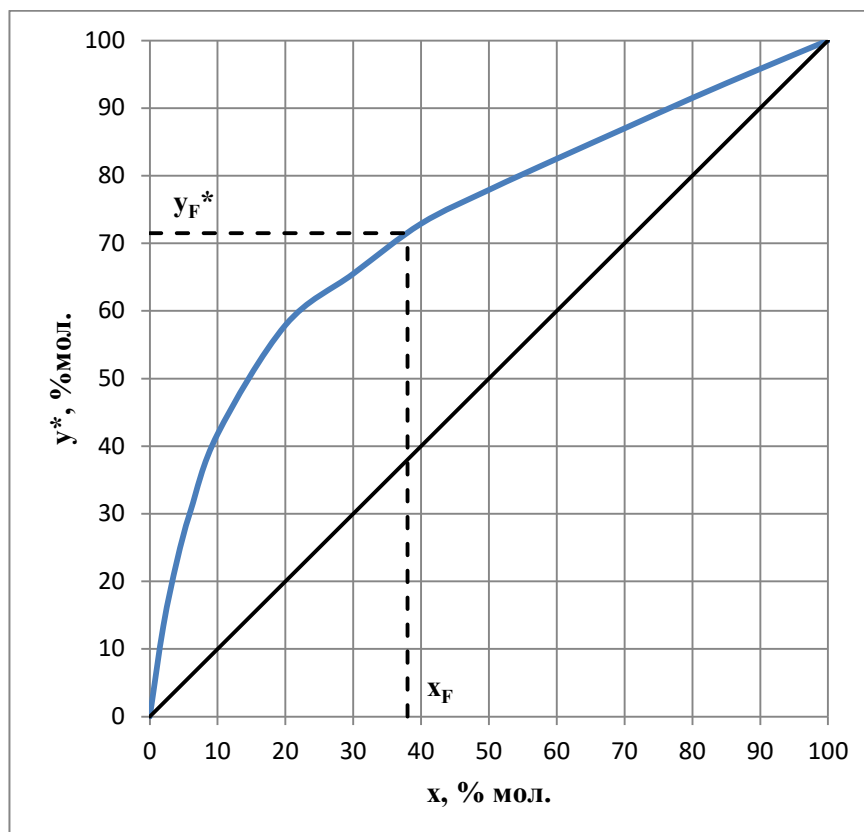


Рисунок 2.1 – Диаграмма равновесия между паром (y) и жидкостью (x) при постоянном давлении.

## 2.2 Расчет минимального флегмового числа

Определяем минимальное флегмовое число по формуле (6) [2, с. 228]:

$$R_{min} = \frac{x_P - y_F^*}{y_F^* - x_F} \quad (6)$$

По рисунку 2.1 определяем равновесный состав пара при  $x_F = 38\%$ :

$$y_F^* = 71,5\% = 0,715.$$

Минимальное флегмовое число:

$$R_{min} = \frac{0,91 - 0,715}{0,715 - 0,38} = 0,582.$$

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

Определяем оптимальное рабочее флегмовое число графическим методом.

### 2.3 Построение рабочих линий при разных значениях коэффициента избытка флегмы

Задаемся рядом значений коэффициента избытка флегмы  $\beta$  и рассчитываем соответствующие рабочие флегмовые числа  $R$  по формуле:

$$R = R_{min} \cdot \beta \quad (7)$$

где  $\beta$  – коэффициент избытка флегмы (берем произвольно).

$$R_1 = \beta_1 \cdot R_{min} = 0,582 \cdot 1,2 = 0,698;$$

$$R_2 = \beta_2 \cdot R_{min} = 0,582 \cdot 1,4 = 0,815;$$

$$R_3 = \beta_3 \cdot R_{min} = 0,582 \cdot 1,7 = 0,989;$$

$$R_4 = \beta_4 \cdot R_{min} = 0,582 \cdot 2,3 = 1,339;$$

$$R_5 = \beta_5 \cdot R_{min} = 0,582 \cdot 3,0 = 1,746;$$

$$R_6 = \beta_6 \cdot R_{min} = 0,582 \cdot 3,8 = 2,212.$$

Для каждого значения  $R$  на  $y$ - $x$  диаграмме строим рабочие линии укрепляющей и исчерпывающей частей колонны по уравнениям (8) и (9) [3, с. 320]:

для укрепляющей части:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_p}{R+1}; \quad (8)$$

для исчерпывающей части:

$$y = \frac{R+F}{R+1} \cdot x - \frac{f-1}{R+1} \cdot x_w. \quad (9)$$

Для каждого случая определяем число теоретических ступеней изменения концентраций  $N_T$  по методу Мак-Кэба и Тиле.

Каждое определение числа теоретических ступеней отражено на рисунках 2.2-2.7.

Построим диаграммы  $x$ ,  $y$ . Построим рабочие линии укрепляющей и исчерпывающей части колонны и нанесем линии обозначающие теоретические тарелки. По количеству ступеней изменения концентрации, определим число теоретических тарелок ( $N_T$ ).

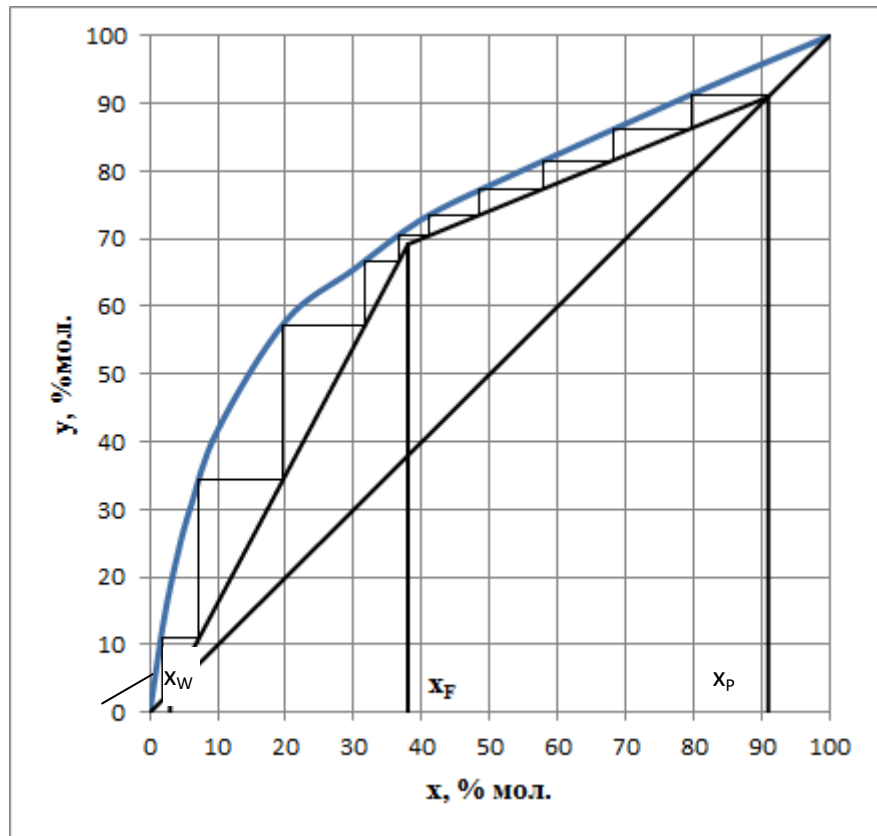


Рисунок 2.2 – Определение числа теоретических ступеней при  $R=0,698$

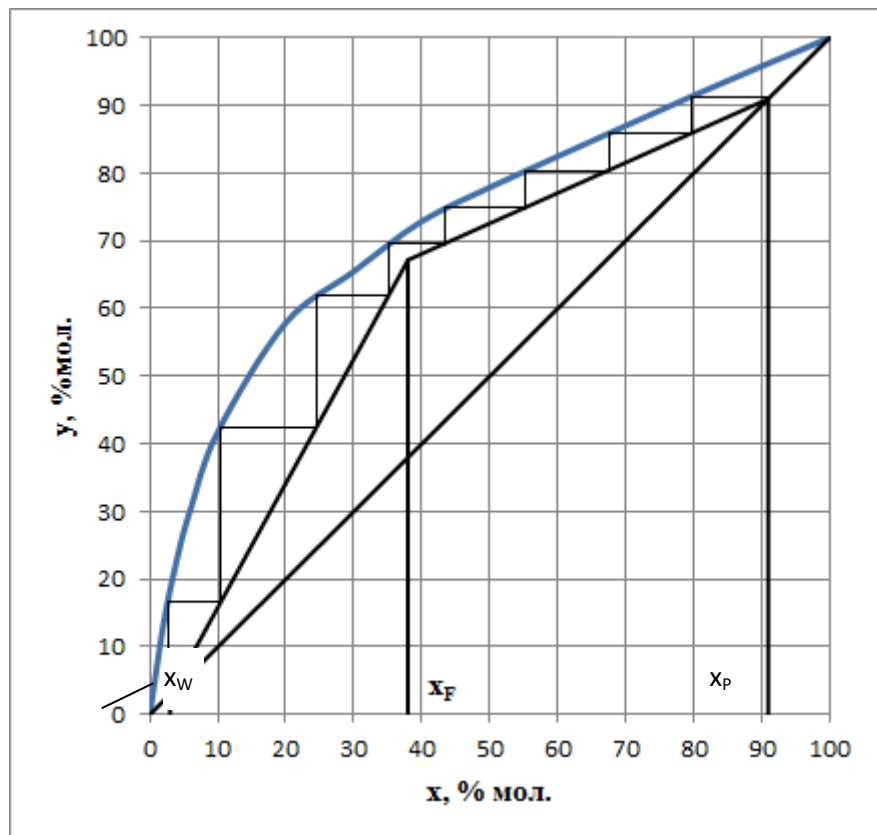


Рисунок 2.3 – Определение числа теоретических ступеней при  $R=0,815$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

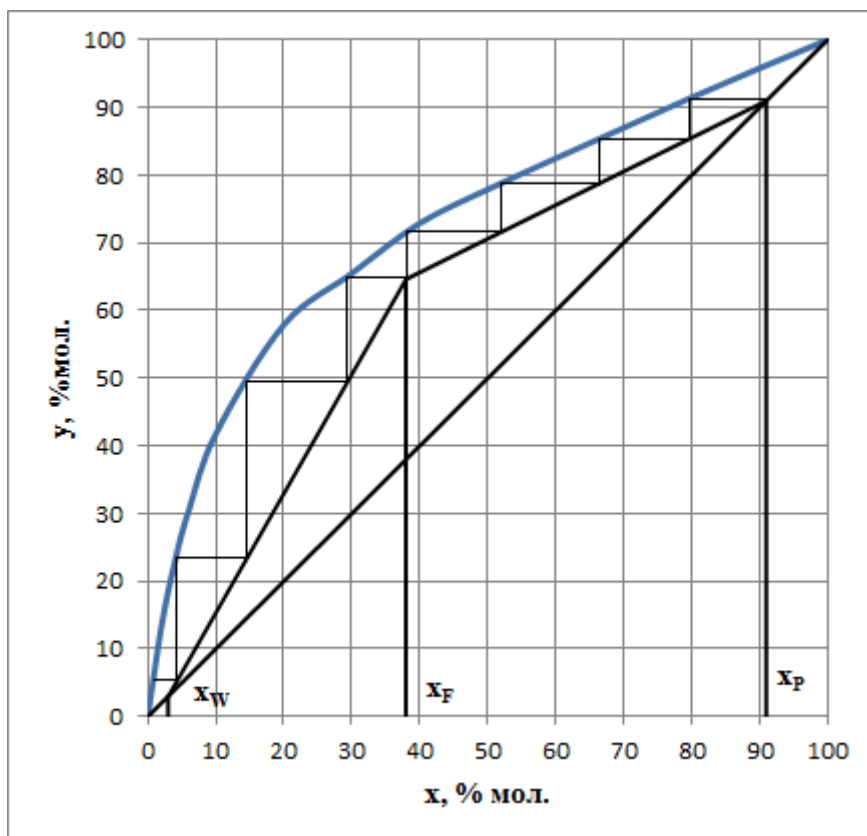


Рисунок 2.4 – Определение числа теоретических ступеней при  $R=0,989$

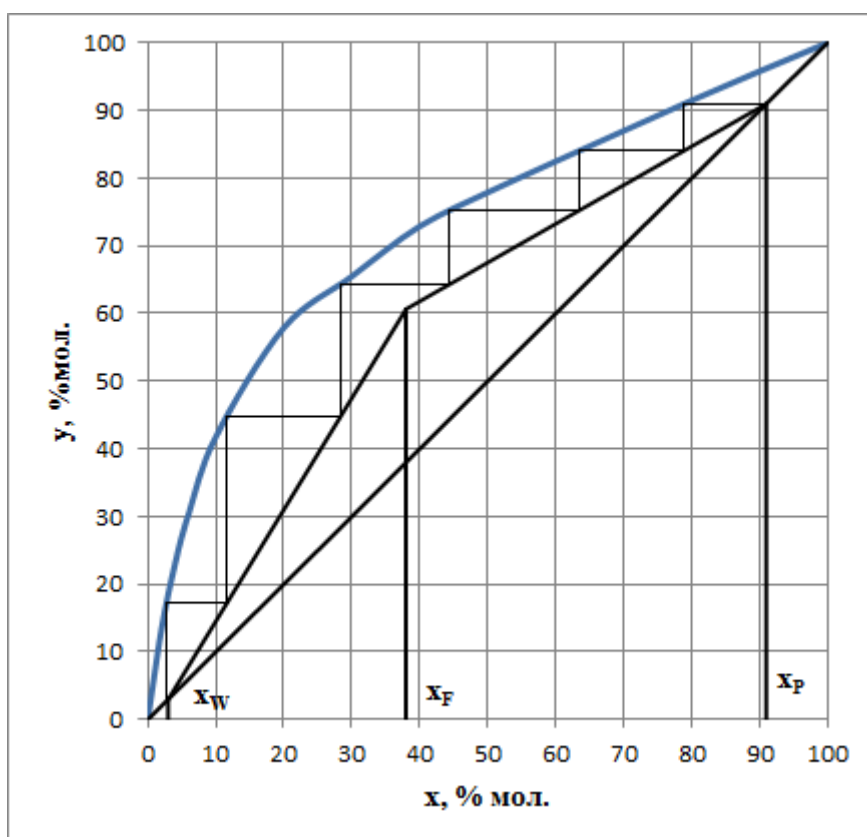


Рисунок 2.5 – Определение числа теоретических ступеней при  $R=1,339$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

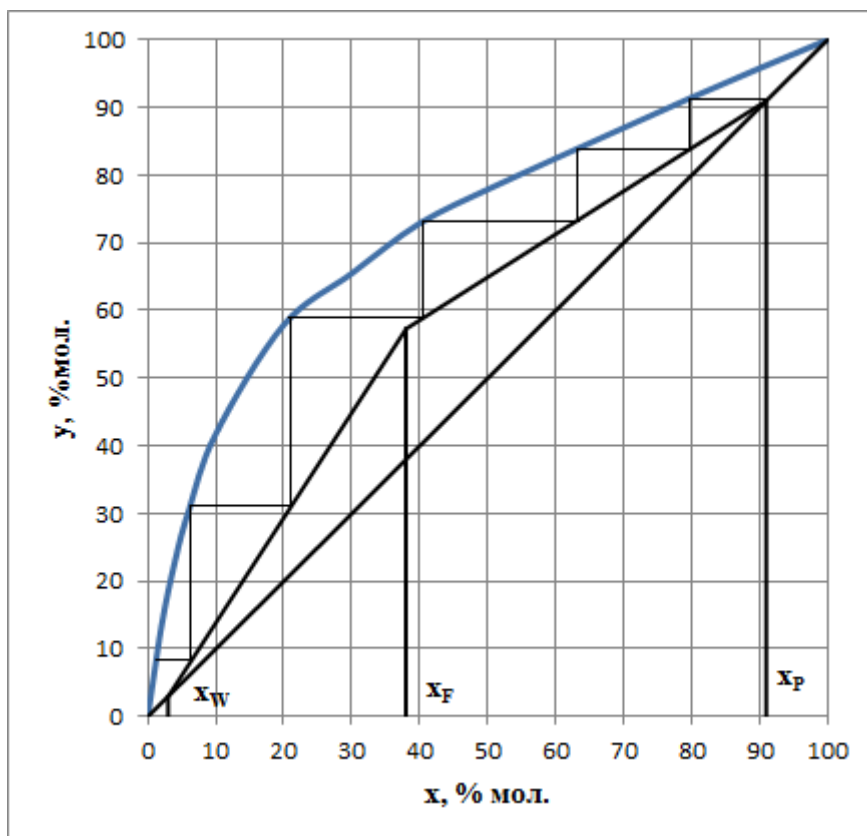


Рисунок 2.6 – Определение числа теоретических ступеней при  $R=1,746$

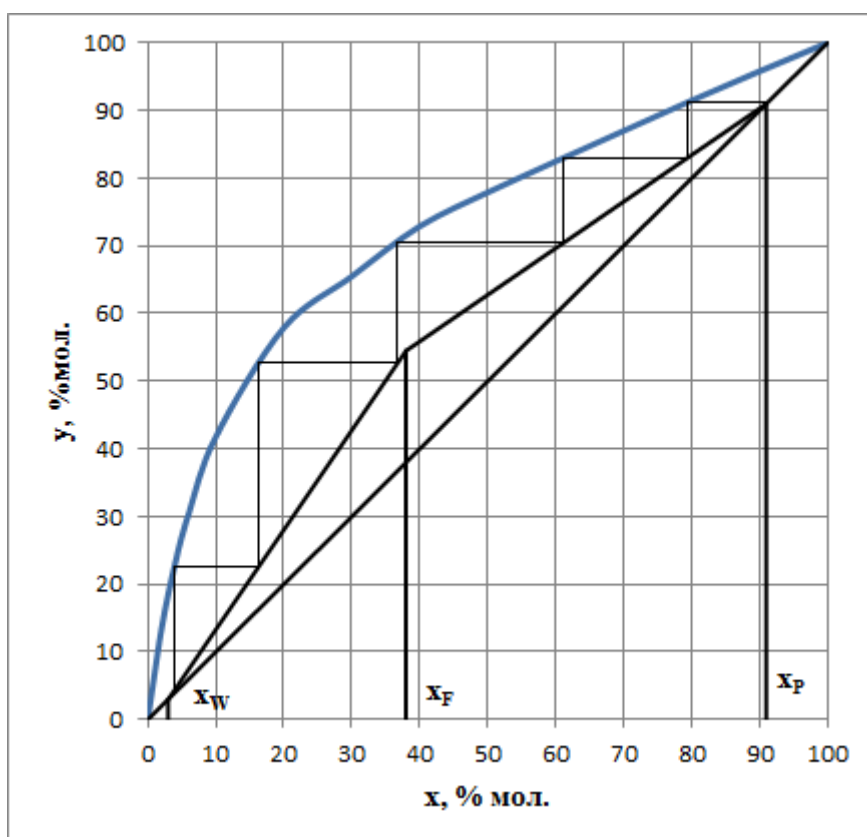


Рисунок 2.7 – Определение числа теоретических ступеней при  $R=2,212$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2.4 Определение рабочего флегмового числа

Полученное количество теоретических тарелок занесем в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Данные для нахождения R

<b>β</b>	1,2	1,4	1,7	2,3	3,0	3,8
<b>R</b>	0,698	0,815	0,989	1,339	1,746	2,212
<b>N</b>	10	8	7	6	5,5	5
<b>N(R+1)</b>	16,98	14,52	13,923	14,034	15,103	16,06

Строим график зависимости  $N(R+1)=f(R)$ . По этому графику определяем оптимальное рабочее флегмовое число, которое соответствует минимуму данного графика.

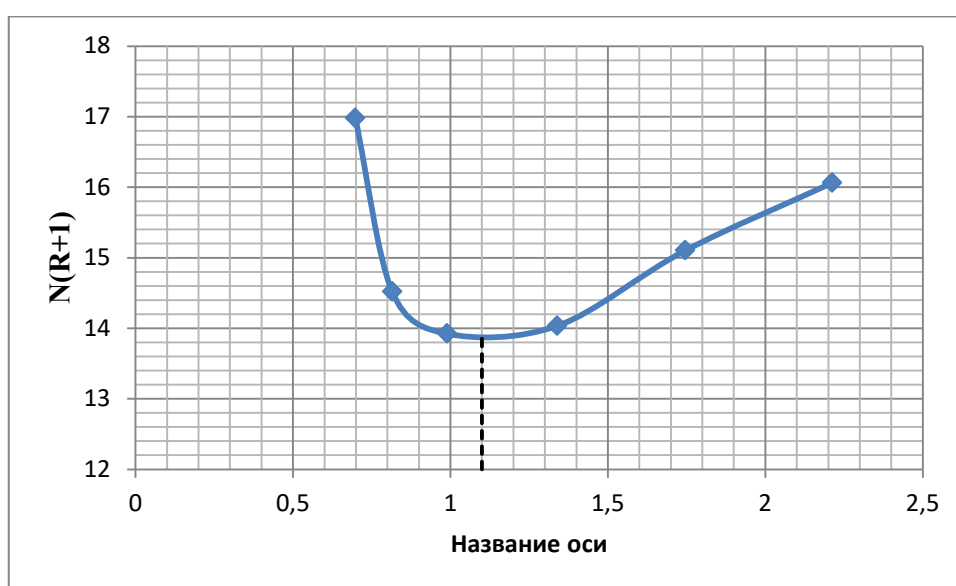


Рисунок 2.8 – Определение рабочего флегмового числа

По графику видно, что минимуму соответствует значение  $R=1,1$ .

Построим у-х диаграмму при рабочем флегмовом числе.

Уравнения рабочих линий:

для верхней части колонны

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_p}{R+1} = \frac{1,1}{1,1+1} \cdot x + \frac{0,91}{1,1+1} = 0,524x + 0,433;$$

для нижней части колонны

$$y = \frac{R+f}{R+1} \cdot x - \frac{f-1}{R+1} \cdot x_w = \frac{1,1+2,51}{1,1+1} \cdot x - \frac{(2,51-1) \cdot 0,03}{1,1+1} = 1,719x - 0,022,$$

где  $f$  – относительный мольный расход питания:

$$f = \frac{x_p - x_w}{x_F - x_w} = \frac{0,91 - 0,03}{0,38 - 0,03} = 2,51.$$



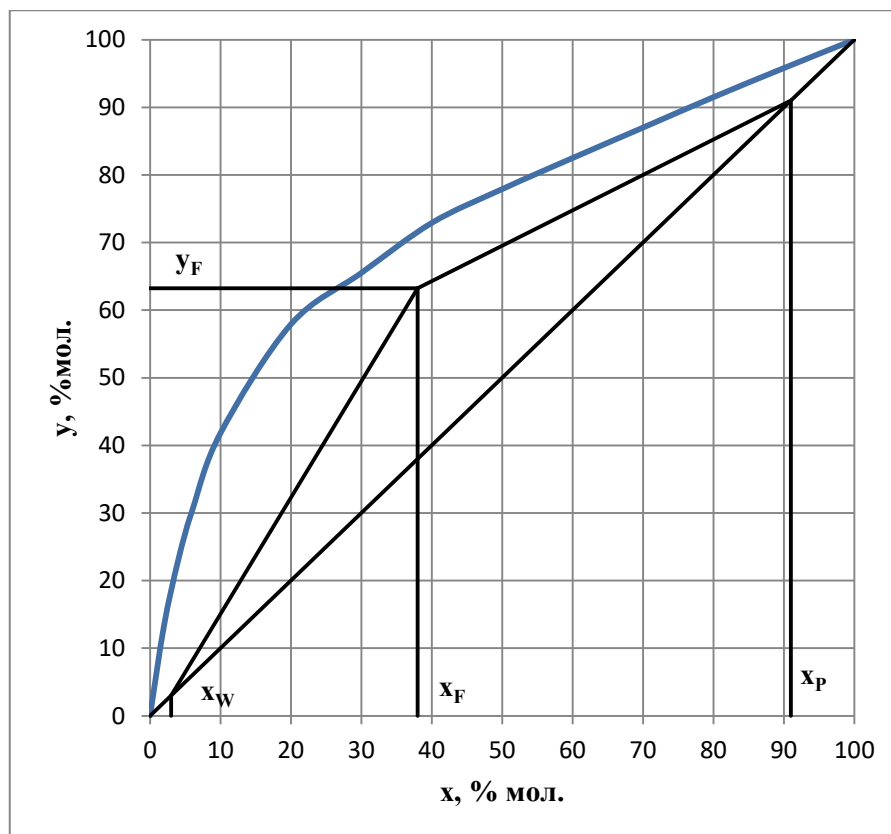


Рисунок 2.9 – Рабочие линии верха и низа колонны при  $R=1,1$

## 2.5 Расчет средних массовых расходов по жидкости для верхней и нижней частей колонны

Средние массовые расходы (нагрузки) по жидкости для верхней и нижней частей колонны определяются из соотношений [2, с. 229]:

$$L_B = \frac{PRM_B}{M_P}; \quad (10)$$

$$L_H = \frac{PRM_H}{M_P} + \frac{FM_H}{M_F}. \quad (11)$$

где  $M_P$  и  $M_F$  – 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:

$$M_B = M_M x_{\text{ср.в.}} + M_B (1 - x_{\text{ср.в.}}); \quad (12)$$

$$M_H = M_M x_{\text{ср.н.}} + M_B (1 - x_{\text{ср.н.}}), \quad (13)$$

где  $M_M$  и  $M_B$  – мольные массы метанола и воды соответственно равные 32 кг/кмоль и 18 кг/кмоль;

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

$x_{\text{ср.в.}}$  и  $x_{\text{ср.н.}}$  – средний мольный состав жидкости в верхней и нижней частях колонны:

$$x_{\text{ср.в.}} = \frac{x_P + x_F}{2} = \frac{0,91 + 0,38}{2} = 0,645 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}};$$

$$x_{\text{ср.н.}} = \frac{x_W + x_F}{2} = \frac{0,03 + 0,38}{2} = 0,205 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}.$$

Тогда

$$M_B = 32 \cdot 0,645 + 18(1 - 0,645) = 27,03 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}};$$

$$M_H = 32 \cdot 0,205 + 18(1 - 0,205) = 20,87 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Мольная масса исходной смеси

$$M_F = 32 \cdot 0,38 + 18(1 - 0,38) = 23,32 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Мольную массу дистиллята в данном случае можно принять равной мольной массе легколетучего компонента – метанола:

$$M_P = M_M = 32 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Подставляя полученные величины в уравнения (10) и (11), получим:

$$L_B = \frac{1,452 \cdot 1,1 \cdot 27,03}{32} = 1,35 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$L_H = \frac{1,452 \cdot 1,1 \cdot 20,87}{32} + \frac{2,78 \cdot 20,87}{23,32} = 3,53 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

## 2.6 Расчет средних массовых расходов пара для верхней и нижней частей колонны

Средние массовые потоки пара в верхней  $G_B$  и нижней  $G_H$  частях колонны соответственно равны [2, с. 230]:

$$G_B = P(R + 1) M'_B / M_P; \quad (14)$$

$$G_H = P(R + 1) M'_H / M_P. \quad (15)$$

Здесь  $M'_B$  и  $M'_H$  – средние мольные массы паров в верхней и нижней частях колонны:

$$M'_B = M_M y_{\text{ср.в.}} + M_B (1 - y_{\text{ср.в.}});$$

$$M'_H = M_M y_{\text{ср.н.}} + M_B (1 - y_{\text{ср.н.}}),$$

где

$$y_{\text{ср.в.}} = \frac{y_P + y_F}{2} = \frac{0,91 + 0,632}{2} = 0,771 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}};$$

$$y_{\text{ср.н.}} = \frac{y_F + y_W}{2} = \frac{0,632 + 0,03}{2} = 0,331 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Тогда

$$M'_B = 32 \cdot 0,771 + 18(1 - 0,771) = 28,79 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}};$$

$$M'_H = 32 \cdot 0,331 + 18(1 - 0,331) = 22,63 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

Подставив численные значения в уравнения (14) и (15), получим:

$$G_B = 1,452(1,1 + 1) \cdot \frac{28,79}{32} = 2,74 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$G_H = 1,452(1,1 + 1) \cdot \frac{22,63}{32} = 2,16 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

## 2.7 Скорость пара и диаметр колонны

Плотности пара  $\rho_{\text{ув}}$ ,  $\rho_{\text{ун}}$  в верхней и нижней частях колонны находим по уравнениям [2, с. 353]:

$$\rho_{\text{ув}} = \frac{M'_B}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_B}; \quad (16)$$

$$\rho_{\text{ун}} = \frac{M'_H}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_H}. \quad (17)$$

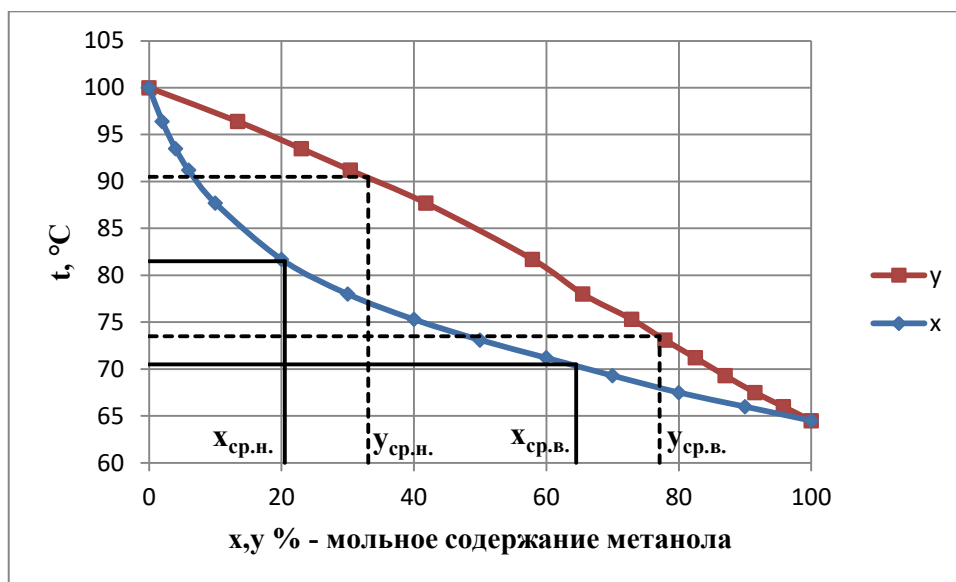


Рисунок 2.10 – Диаграмма t-x,y

Средняя температура паров в колонне (по t-x,y диаграмме):

Вверху колонны при  $y_{\text{ср.в.}} = 0,771 \Rightarrow t_B = 73,5^\circ\text{C}$ .

Внизу колонны при  $y_{\text{ср.н.}} = 0,331 \Rightarrow t_H = 90,5^\circ\text{C}$ .

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

Отсюда получим:

$$\rho_{ув} = \frac{28,79 \cdot 273}{22,4(273 + 73,5)} = 1,013 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{ун} = \frac{22,63 \cdot 273}{22,4(273 + 90,5)} = 0,759 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Температура в верху колонны для жидкости при  $x_{ср.в.} = 0,645$  равняется  $70,5^\circ\text{C}$ , а в нижней части колонны при  $x_{ср.н.} = 0,205$  она равна  $81,5^\circ\text{C}$ .

Плотность жидкой фазы в нижней части колонны

При средней температуре нижней части  $81,5^\circ\text{C}$ , плотности жидкого метанола из табл. IV равна  $\rho_M = 734,35 \text{ кг/м}^3$ , воды  $\rho_B = 970,95 \text{ кг/м}^3$  [3, с. 512].

По правилу аддитивности [3, с. 12]:

$$\rho_{хн} = \frac{1}{\frac{\bar{x}_{ср.н.}}{\rho_M} + \frac{1 - \bar{x}_{ср.н.}}{\rho_B}} = \frac{1}{\frac{0,314}{734,35} + \frac{1 - 0,314}{970,95}} = 881,75 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

где

$$\bar{x}_{ср.н.} = \frac{x_{ср.н.} \cdot M_M}{x_{ср.н.} \cdot M_M + (1 - x_{ср.н.}) \cdot M_B} = \frac{0,205 \cdot 32}{0,205 \cdot 32 + (1 - 0,205) \cdot 18} = 0,314.$$

Плотность жидкой фазы в верхней части колонны

При средней температуре верхней части  $70,5^\circ\text{C}$ , плотности жидких метанола и воды равны соответственно:  $\rho_M = 745,5 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_B = 977,23 \text{ кг/м}^3$  [3, с. 512]. По правилу аддитивности:

$$\rho_{хв} = \frac{1}{\frac{\bar{x}_{ср.в.}}{\rho_M} + \frac{1 - \bar{x}_{ср.в.}}{\rho_B}} = \frac{1}{\frac{0,764}{745,5} + \frac{1 - 0,764}{977,23}} = 789,69 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

где

$$\bar{x}_{ср.в.} = \frac{0,645 \cdot 32}{0,645 \cdot 32 + (1 - 0,645) \cdot 18} = 0,764.$$

Средняя плотность жидкости в колонне:

$$\rho_{хв} = \rho_{хн} = \rho_{ж} = \frac{881,75 + 789,69}{2} = 835,72 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Расчет скорости пара в колоннах с ситчатыми тарелками выполняется по уравнению (18) [2, с. 205]:

$$\omega = 0,05 \sqrt{\rho_x / \rho_y}; \quad (18)$$

Допустимая скорость в верхней и нижней частях колонны соответственно равна:

$$\omega_B = 0,05 \sqrt{\rho_{ж} / \rho_{ув}} = 0,05 \sqrt{835,72 / 1,013} = 1,44 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\omega_H = 0,05 \sqrt{\rho_{ж} / \rho_{ун}} = 0,05 \sqrt{835,72 / 0,759} = 1,66 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

										Лист
										28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066212.001 ПЗ					

Ориентировочный диаметр колонны определяют из уравнения расхода [2, с. 237]:

$$d = \sqrt{4G/(\pi\omega\rho_y)}. \quad (19)$$

В данном случае скорости  $\omega_B$  и  $\omega_H$  мало отличаются друг от друга; используем в расчете среднюю скорость паров:

$$\omega = \frac{1,44 + 1,66}{2} = 1,55 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Принимаем средний массовый поток пара в колонне  $G$  равным полусумме  $G_B$  и  $G_H$ :

$$G = \frac{2,74 + 2,16}{2} = 2,45 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Средняя плотность паров

$$\rho_y = \frac{\rho_{yB} + \rho_{yH}}{2} = \frac{1,013 + 0,759}{2} = 0,886 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Диаметр колонны

$$d = \sqrt{4 \cdot 2,45 / (3,14 \cdot 1,55 \cdot 0,886)} = 1,51 \text{ м}.$$

Выберем стандартный внутренний диаметр колонны  $d=1600$  мм. При этом скорость пара:

$$\omega = \omega_{cp} \left( \frac{d_{cp}}{d_{ст}} \right)^2 = 1,55 \cdot \left( \frac{1,51}{1,6} \right)^2 = 1,38 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (20)$$

По каталогу для колонны диаметром 1600 мм выбираем ситчатую тарелку ТС-Р со следующими конструктивными размерами [2, с. 216]:

Таблица 2.3 – Техническая характеристика ситчатых тарелок типа ТС-Р

Параметр	Значение
Свободное сечение колонны, $\text{м}^2$	2,01
Рабочее сечение тарелки, $S_T, \text{м}^2$	1,834
Диаметр отверстия, $d$ , мм	8
Шаг между отверстиями, $t$ , мм	20
Относительное свободное сечение тарелки, $F_C$ , %	14,7
Сечение перелива, $\text{м}^2$	0,088
Относительная площадь перелива, %	4,4
Периметр перелива, $L_C$ , м	0,795
Масса, кг	89

Скорость пара в рабочем сечении тарелки:

$$\omega_T = \omega \cdot 0,785 \cdot \frac{d^2}{S_T} = \frac{1,38 \cdot 0,785 \cdot 1,6^2}{1,834} = 1,51 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (21)$$

## 2.8 Расчет высота колонны

Высоту светлого слоя жидкости для ситчатых тарелок находят по уравнению [2, с. 239]:

$$h_0 = 0,787 \cdot q^{0,2} \cdot h_{пер}^{0,56} \cdot \omega_T^m \cdot [1 - 0,31 \exp(-0,11\mu_x)] \cdot (\sigma_x/\sigma_B)^{0,09} \quad (22)$$

где  $h_{пер}$  – высота переливной перегородки, м ( $h_{пер}=0,03$  м);

$b$  – ширина сливной перегородки, м (периметр перелива,  $L_C$ );

$q=L/(\rho_x b)$  – удельный расход жидкости на 1 м ширины сливной перегородки, м<sup>2</sup>/с;

$\sigma_x, \sigma_B$  – поверхностное натяжение соответственно жидкости и воды при средней температуре в колонне, 10<sup>-3</sup> Н/м;

$\mu_x$  – в мПа·с;

$$m = 0,05 - 4,6 \cdot h_{пер} = 0,05 - 4,6 \cdot 0,03 = - 0,088.$$

Вязкости жидкости в верхней и нижней частях колонны находим по уравнениям [3, с. 231]:

$$lg\mu_{xB} = x_{ср.в.} \cdot lg\mu_M + (1 - x_{ср.в.}) \cdot lg\mu_B; \quad (23)$$

$$lg\mu_{xH} = x_{ср.н.} \cdot lg\mu_M + (1 - x_{ср.н.}) \cdot lg\mu_B, \quad (24)$$

где  $\mu_M$  и  $\mu_B$  – вязкости жидких метанола и воды при температуре смеси, мПа · с.

$$lg\mu_{xB} = 0,645 \cdot lg0,319 + (1 - 0,645) \cdot lg0,41;$$

$$\mu_{xB} = 0,349 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$lg\mu_{xH} = 0,205 \cdot lg0,286 + (1 - 0,205) \cdot lg0,352;$$

$$\mu_{xH} = 0,337 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Для верхней части колонны:

$$q_B = \frac{L_B}{\rho_{ж} \cdot b} = \frac{1,35}{835,72 \cdot 0,795} = 0,00203 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}; \quad (25)$$

$$h_{0B} = 0,787 \cdot 0,00203^{0,2} \cdot 0,03^{0,56} \cdot 1,51^{-0,088} \cdot [1 - 0,31 \cdot 2,72^{(-0,11 \cdot 0,349)}] \cdot (20/60)^{0,09} \\ = 0,01959 \text{ м}.$$

Для нижней части колонны:

$$q_H = \frac{L_H}{\rho_{ж} \cdot b} = \frac{3,53}{835,72 \cdot 0,795} = 0,00531 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}; \quad (26)$$

$$h_{0H} = 0,787 \cdot 0,00531^{0,2} \cdot 0,03^{0,56} \cdot 1,51^{-0,088} \cdot [1 - 0,31 \cdot 2,72^{(-0,11 \cdot 0,337)}] \cdot (20/60)^{0,09} \\ = 0,02373 \text{ м}.$$

Паросодержание барботажного слоя  $\epsilon$  находят по формуле [2, с. 240]:

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{Fr}}{1 + \sqrt{Fr}}, \quad (27)$$

Где  $Fr = \omega^2 r / (gh_0)$ .

Для колонны:

$$Fr_B = \frac{1,51^2}{9,8 \cdot 0,01959} = 11,877; \varepsilon_B = \frac{\sqrt{11,877}}{1 + \sqrt{11,877}} = 0,775.$$

$$Fr_H = \frac{1,51^2}{9,8 \cdot 0,02373} = 9,805; \varepsilon_H = \frac{\sqrt{9,805}}{1 + \sqrt{9,805}} = 0,758.$$

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

Коэффициенты диффузии в жидкости при 20°C можно вычислить по приближенной формуле [2, с. 234]:

$$D_{x20} = \frac{10^{-6} \sqrt{1/M_M + 1/M_B}}{A \cdot B \sqrt{\mu_x} (v_M^{1/3} + v_B^{1/3})^2}, \quad (28)$$

где  $A, B$  – коэффициенты, зависящие от свойств растворенного вещества и растворителя [4];

$v_M, v_B$  – мольные объемы компонентов в жидком состоянии при температуре кипения, см<sup>3</sup>/моль [2],

$\mu_x$  – вязкость жидкости при 20°C, мПа · с [2, с. 516].

Коэффициент диффузии в жидкости при средней температуре  $t$  (в °C) равен:

$$D_x = D_{x20} [1 + b(t - 20)]. \quad (29)$$

Температурный коэффициент  $b$  определяется по формуле:

$$b = 0,2 \sqrt{\mu_x / \rho_x}^3. \quad (30)$$

где  $\mu_x$  принимают при температуре 20°C, а  $\rho_x$  при соответствующей температуре в колонне.

$$\lg \mu_{xв20} = 0,645 \cdot \lg 0,584 + (1 - 0,645) \lg 1,0;$$

$$\mu_{xв20} = 0,707 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

Мольный объем метанола и воды в жидком состоянии при температуре кипения найдем в табл. 1.1.2 [4]:

$$v_M = 40,45 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}.$$

$$v_B = 18,7 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}.$$

Тогда коэффициент диффузии в жидкости для верхней части колонны при 20°C равен:

$$D_{xв20} = \frac{10^{-6} \sqrt{1/32 + 1/18}}{2 \cdot 4,7 \sqrt{0,707} (40,45^{1/3} + 18,7^{1/3})^2} = 1,006 \cdot 10^{-9} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Температурный коэффициент  $b$ :

$$b_B = 0,2\sqrt{0,707}/\sqrt[3]{789,69} = 0,01819.$$

Коэффициент диффузии в жидкости при средней температуре верха  $70,5^\circ\text{C}$ :

$$D_{XB} = 1,006 \cdot 10^{-9} [1 + 0,01819(70,5 - 20)] = 1,93 \cdot 10^{-9} \frac{\text{M}^2}{\text{c}}.$$

Аналогично для нижней части колонны находим:

$$\lg \mu_{xH20} = 0,205 \cdot \lg 0,584 + (1 - 0,205) \lg 1,0;$$

$$\mu_{xH} = 0,896 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$D_{xH20} = \frac{10^{-6} \sqrt{1/32 + 1/18}}{2 \cdot 4,7 \sqrt{0,896} (40,45^{1/3} + 18,7^{1/3})^2} = 8,94 \cdot 10^{-10} \frac{\text{M}^2}{\text{c}}.$$

$$b_H = \frac{0,2\sqrt{0,896}}{\sqrt[3]{881,75}} = 0,01974.$$

$$D_{XH} = 8,94 \cdot 10^{-10} [1 + 0,01974(81,5 - 20)] = 1,98 \cdot 10^{-9} \frac{\text{M}^2}{\text{c}}.$$

Коэффициент диффузии в паровой фазе может быть вычислен по уравнению (31) [2, с. 234]:

$$D_y = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} T^{3/2}}{P(v_M^{1/3} + v_m^{1/3})^2} \sqrt{1/M_M + 1/M_B}, \quad (31)$$

где  $T$  - средняя температура в соответствующей части колонны, К;

$P$  - абсолютное давление в колонне, Па.

Тогда для верхней части колонны:

$$D_{yB} = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} \cdot (273 + 73,5)^{3/2}}{10^5 (40,45^{1/3} + 18,7^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{32} + \frac{1}{18}} = 2,16 \cdot 10^{-5} \frac{\text{M}^2}{\text{c}}.$$

Аналогичный расчет для нижней части колонны:

$$D_{yH} = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} \cdot (273 + 90,5)^{3/2}}{10^5 (40,45^{1/3} + 18,7^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{32} + \frac{1}{18}} = 2,33 \cdot 10^{-5} \frac{\text{M}^2}{\text{c}}.$$

Уравнения (32) и (33) [2, с. 239] для расчета коэффициентов массоотдачи имеют вид:

$$\beta_{xf} = 6,24 \cdot 10^5 D_x^{0,5} \left( \frac{U}{1-\varepsilon} \right)^{0,5} h_0 \left( \frac{\mu_y}{\mu_x + \mu_y} \right)^{0,5}; \quad (32)$$

$$\beta_{yf} = 6,24 \cdot 10^5 F_c D_y^{0,5} \left( \frac{\omega_T}{\varepsilon} \right)^{0,5} h_0 \left( \frac{\mu_y}{\mu_x + \mu_y} \right)^{0,5}. \quad (33)$$

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



$$\mu_{yB} = \frac{M'_B}{y_{cp.B.} M_M / \mu_M + (1 - y_{cp.B.}) M_B / \mu_B}; \quad (34)$$

$$\mu_{yH} = \frac{M'_H}{y_{cp.H.} M_M / \mu_M + (1 - y_{cp.H.}) M_B / \mu_B}, \quad (35)$$

где  $\mu_M$  и  $\mu_B$  – вязкость паров метанола и воды при средней температуре соответствующей части колонны, мПа · с [5].

Отсюда:

$$\mu_{yB} = \frac{28,79}{0,771 \cdot 32/0,01125 + (1 - 0,771) \cdot 18/0,01151} = 0,01129 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{yH} = \frac{22,63}{0,331 \cdot 32/0,01189 + (1 - 0,331) \cdot 18/0,01215} = 0,01203 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Вычисляем коэффициенты массоотдачи.

Для верхней части колонны:

коэффициент массоотдачи в жидкой фазе:

$$U = \frac{L_B}{\rho_{xB} \cdot S_T} = \frac{1,35}{789,69 \cdot 1,834} = 0,000932 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}. \quad (36)$$

$$\beta_{xf} = 6,24 \cdot 10^5 (1,93 \cdot 10^{-9})^{0,5} \left( \frac{0,000932}{1 - 0,775} \right)^{0,5} \cdot 0,01959 \left( \frac{0,01129}{0,349 + 0,01129} \right)^{0,5} = 0,00612 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

коэффициент массоотдачи в паровой фазе:

$$\beta_{yf} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot 0,147 (2,16 \cdot 10^{-5})^{0,5} \left( \frac{1,51}{0,775} \right)^{0,5} \cdot 0,01959 \left( \frac{0,01129}{0,349 + 0,01129} \right)^{0,5} = 2,03 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для нижней части колонны:

коэффициент массоотдачи в жидкой фазе:

$$U = \frac{L_H}{\rho_{xH} \cdot S_T} = \frac{3,53}{881,75 \cdot 1,834} = 0,002183 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}. \quad (37)$$

$$\beta_{xf} = 6,24 \cdot 10^5 (1,98 \cdot 10^{-9})^{0,5} \left( \frac{0,002183}{1 - 0,758} \right)^{0,5} \cdot 0,02373 \cdot \left( \frac{0,01203}{0,337 + 0,01203} \right)^{0,5} = 0,01162 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

коэффициент массоотдачи в паровой фазе:

$$\begin{aligned} \beta_{yf} &= 6,24 \cdot 10^5 \cdot 0,147 \cdot (2,33 \cdot 10^{-5})^{0,5} \left( \frac{1,51}{0,758} \right)^{0,5} \cdot 0,02373 \cdot \left( \frac{0,01203}{0,337 + 0,01203} \right)^{0,5} \\ &= 2,53 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

Пересчитаем коэффициенты массоотдачи на кмоль/(м<sup>2</sup>·с):

										Лист
										33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

для верхней части колонны

$$\beta_{xf} = 0,00612 \cdot \frac{\rho_{xв}}{M_B} = 0,00612 \cdot \frac{789,69}{27,03} = 0,154 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}};$$

$$\beta_{yf} = 2,03 \cdot \frac{\rho_{yв}}{M'_B} = 2,03 \cdot \frac{1,013}{28,79} = 0,0714 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}.$$

для нижней части колонны

$$\beta_{xf} = 0,01162 \cdot \frac{\rho_{xн}}{M_H} = 0,01162 \cdot \frac{881,75}{20,87} = 0,22 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}};$$

$$\beta_{yf} = 2,53 \cdot \frac{\rho_{yн}}{M'_H} = 2,53 \cdot \frac{0,759}{22,63} = 0,0849 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}.$$

Построим кинетическую линию и определим высоту колонны.

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  $x_p$ .

Возьмем  $x=0,45$  (рисунок 2.11).

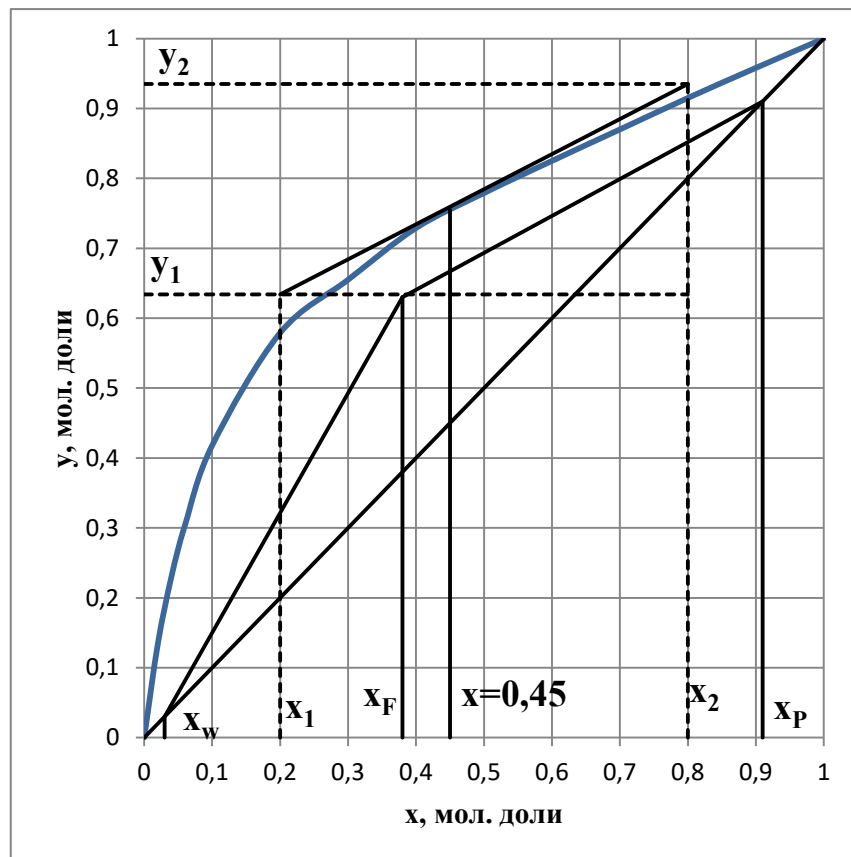


Рисунок 2.11 – Определение коэффициента распределения компонента по фазам

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

Коэффициент распределения компонента по фазам (тангенс угла наклона равновесной линии в точке  $x=0,45$ ):

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,935 - 0,634}{0,8 - 0,2} = 0,5017.$$

Коэффициент массопередачи вычисляем по коэффициентам массоотдачи в верхней части колонны [2, с. 241]:

$$K_{yf} = \frac{1}{1/\beta_{yf} + m/\beta_{xf}} = \frac{1}{1/0,0714 + 0,5017/0,154} = 0,0595 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}. \quad (38)$$

Общее число единиц переноса на тарелку находим по уравнению:

$$n_{oy} = \frac{K_{yf} M'}{\omega_T \rho_y} = \frac{0,0595 \cdot 28,79}{1,51 \cdot 1,013} = 1,1196. \quad (39)$$

Локальная эффективность равна:

$$E_y = 1 - e^{-n_{oy}} = 1 - e^{-1,1196} = 0,6736. \quad (40)$$

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

Для верхней части колонны фактор массопередачи равен:

$$\lambda = \frac{m(R+1)}{R} = \frac{0,5017(1,1+1)}{1,1} = 0,9578. \quad (41)$$

В случае рассмотрения фактора массопередачи для нижней части колонны:

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

где  $f$  – относительный мольный расход питания:

$$f = \frac{x_P - x_W}{x_F - x_W}.$$

Долю байпасирующей жидкости принимаем  $\theta = 0,1$ . Для определения числа ячеек полного перемешивания ( $S$ ) как отношение длины пути жидкости на тарелке  $l_T$  к длине  $l$ , примем  $l = 350$  мм.

Длину пути жидкости определим как расстояние между переливными устройствами:

$$l_T = \sqrt{d^2 - b^2} = \sqrt{1,6^2 - 0,795^2} = 1,39 \text{ м}, \quad (42)$$

где  $b$  – периметр перелива, м;

$d$  – внутренний диаметр колонны, м.

Тогда число ячеек полного перемешивания на тарелке равно:

$$S = \frac{l_T}{l} = \frac{1,39}{0,35} \approx 4. \quad (43)$$

Коэффициент  $m'$ , учитывающий влияние на унос физических свойств жидкости и пара, определяют по уравнению

$$m' = 1,15 \cdot 10^{-3} \left( \frac{\sigma_x}{\rho_y} \right)^{0,295} \left( \frac{\rho_x - \rho_y}{\mu_y} \right)^{0,425}, \quad (44)$$

откуда

$$m' = 1,15 \cdot 10^{-3} \left( \frac{20 \cdot 10^{-3}}{1,013} \right)^{0,295} \left( \frac{789,69 - 1,013}{0,01129 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,425} = 0,779.$$

Высота сепарационного пространства равна расстоянию между верхним уровнем барботажного слоя и плоскостью тарелки, расположенной выше:

$$H_c = H - h_{\text{п}}. \quad (45)$$

Примем межтарельчатое расстояние  $H=500$  мм.

Высота сепарационного пространства в верхней части колонны:

$$h_{\text{п}} = h_{0\text{в}} / (1 - \varepsilon_{\text{в}}) = 0,01959 / (1 - 0,775) = 0,0871 \text{ м.}$$

Тогда  $H_c = 0,5 - 0,0871 = 0,4129$  м.

$$\omega_{\text{т}} / (m' H_c) = 1,51 / (0,779 \cdot 0,4129) = 4,694.$$

При таком значении комплекса  $\omega_{\text{т}} / (m' H_c)$  унос  $e=0,16$  кг/кг по [2, с. 242]. Унос жидкости в верхней части колонны мало отличается от уноса в нижней части.

Определим КПД по Мэрфри [3, с. 243]:

$$B = \frac{\lambda(E_y + e/m)}{(1 - \theta)(1 + e\lambda/m)} = \frac{0,9578(0,6736 + \frac{0,16}{0,5017})}{(1 - 0,1)(1 + 0,16 \cdot \frac{0,9578}{0,5017})} = 0,8091; \quad (46)$$

$$E''_{My} = \frac{E_y}{B} \left[ \left( 1 + \frac{B}{S} \right)^S - 1 \right] = \frac{0,6736}{0,8091} \left[ \left( 1 + \frac{0,8091}{4} \right)^4 - 1 \right] = 0,9069;$$

$$E'_{My} = \frac{E''_{My}}{1 + \lambda \theta E''_{My} / (1 - \theta)} = \frac{0,9069}{1 + 0,9578 \cdot 0,1 \cdot 0,9069 / (1 - 0,1)} = 0,8271;$$

$$E_{My} = \frac{E'_{My}}{1 + e\lambda E'_{My} / [m(1 - \theta)]} = \frac{0,8271}{1 + \frac{0,16 \cdot 0,9578 \cdot 0,8271}{0,5017(1 - 0,1)}} = 0,6458.$$

Зная эффективность по Мэрфри, можно определить концентрацию легколетучего компонента в паре на выходе из тарелки  $y_k$  по соотношению

$$E_{My} = (y_k - y_{\text{н}}) / (y^* - y_{\text{н}}), \quad (47)$$

где  $y_{\text{н}}$  и  $y^*$  – концентрация соответственно легколетучего компонента в паре на входе в тарелку и равновесная с жидкостью на тарелке.

Отсюда

$$y_k = y_{\text{н}} + E_{My}(y^* - y_{\text{н}}) = 0,669 + 0,6458(0,755 - 0,669) = 0,7246.$$

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист 36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Аналогичным образом подсчитаны  $u_k$  для других составов жидкости. Результаты расчета параметров, необходимых для построения кинетической линии, приведены ниже.

Таблица 2.4 – Параметры для построения кинетической линии

Параметр	Нижняя часть			Верхняя часть колонны			
	0,05	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9
$x$	0,05	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9
$t$	3,818	1,633	0,725	0,5017	0,4575	0,446	0,423
$K_{yf}$	0,0511	0,0662	0,0754	0,0595	0,0604	0,0606	0,0611
$n_{oy}$	1,0097	1,3072	1,4896	1,1196	1,1363	1,1407	1,1497
$E_y$	0,6357	0,7294	0,7745	0,6736	0,6790	0,6804	0,6833
$B$	1,5281	0,7981	0,4262	0,8091	0,7647	0,7531	0,7296
$E''_{My}$	1,1015	0,9782	0,9074	0,9069	0,8997	0,8978	0,8940
$E'_{My}$	0,8663	0,8868	0,8704	0,8271	0,8275	0,8275	0,8276
$E_{My}$	0,7952	0,8124	0,7986	0,6458	0,6460	0,6461	0,6461
$u_k$	0,2319	0,4587	0,6219	0,7246	0,7976	0,8687	0,9392

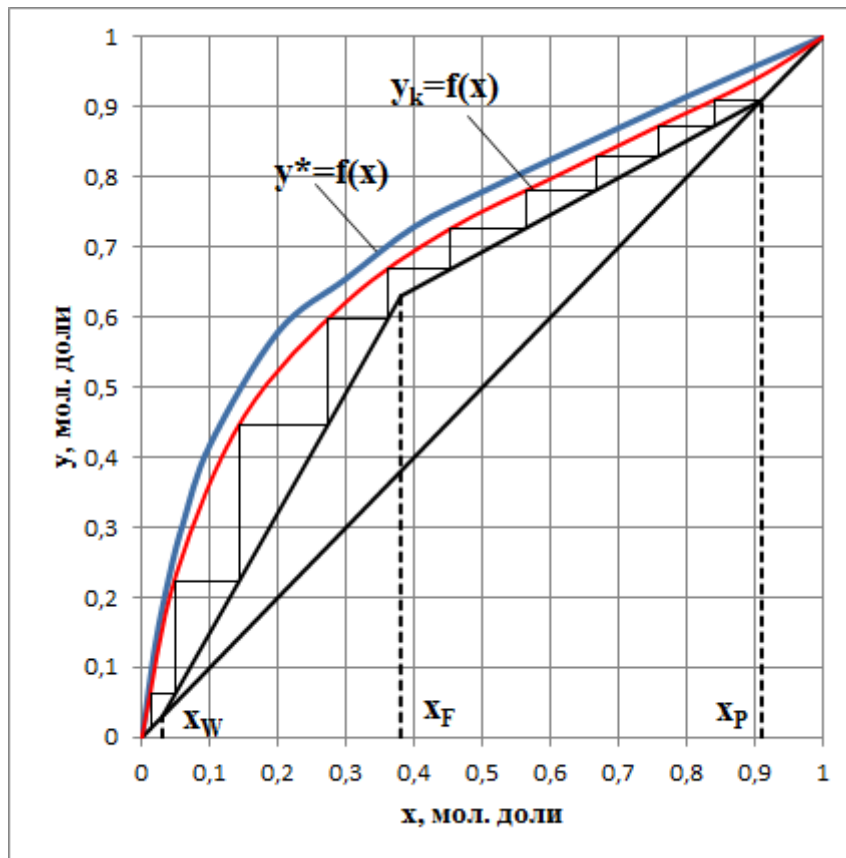


Рисунок 2.12 – Определение числа действительных тарелок

После построения кинетической линии (рисунок 2.12) находим общее число действительных тарелок:

$$N_g=6; N_n=4;$$

$$N=N_g+N_n=6+4=10.$$

Высоту тарельчатой ректификационной колонны определим по формуле:

$$H_k = (N-1-n_l) \cdot h + n_l \cdot h_l + z_g + z_n, \quad (48)$$

где  $h$  – расстояние между тарелками, м;

$z_g$  и  $z_n$  – расстояние соответственно между верхней тарелкой и крышкой колонны и между дном колонны и нижней тарелкой, м;

$n_l$  – количество устанавливаемых люков;

$h_l$  – расстояние между тарелками в месте установления люка, м.

С учетом расположения четырех люков для обслуживания тарелок, высота колонны будет равна:

$$H_k = (10-1-2) \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,8 + 1,0 + 2,0 = 8,1 \text{ м.}$$

## 2.9 Гидравлическое сопротивление тарелок колонны

Гидравлическое сопротивление тарелок колонны определяют по формуле (49) [2, с. 244]:

$$\Delta P_k = \Delta P_B N_B + \Delta P_H N_H, \quad (49)$$

где  $\Delta P_B$  и  $\Delta P_H$  – гидравлическое сопротивление тарелки верхней и нижней части колонны, Па.

Гидравлическое сопротивление одной тарелки определяется по формуле (50) [2, с. 209]:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_n + \Delta P_\sigma, \quad (50)$$

где  $\Delta P_c$  – сопротивление сухой тарелки, Па;

$\Delta P_n$  – сопротивление газожидкостного слоя, Па;

$\Delta P_\sigma$  – сопротивление, обусловленное силами поверхностного натяжения, Па.

Сопротивление сухой тарелки определяется по формуле (51) [2, с. 209]:

$$\Delta P_c = \frac{\xi \omega^2 \rho_y}{2F_c^2}, \quad (51)$$

где  $\xi$  – коэффициент сопротивления сухих тарелок (принимаем для ситчатых тарелок  $\xi = 1,5$ );

$\rho_y$  – средняя плотность пара в колонне, кг/м<sup>3</sup>;

$F_c$  – относительное свободное сечение тарелки;

$\omega$  – скорость пара в рабочем сечении тарелки, м/с.

											Лист
											38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066212.001 ПЗ						

$$\Delta P_c = \frac{1,5 \cdot 1,51^2 \cdot 0,886}{2 \cdot 0,147^2} = 70,16 \text{ Па.}$$

Гидравлическое сопротивление газожидкостного слоя на тарелках различно для верхней и нижней частей колонны:

$$\Delta P_{пв} = g\rho_{хв}h_{0в} = 9,81 \cdot 789,69 \cdot 0,01959 = 151,76 \text{ Па;}$$

$$\Delta P_{пн} = g\rho_{хн}h_{0н} = 9,81 \cdot 881,75 \cdot 0,02373 = 205,26 \text{ Па.}$$

Гидравлическое сопротивление, обусловленное силами поверхностного натяжения, равно

$$\Delta P_\sigma = \frac{4\sigma}{d_э} = \frac{4 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{0,008} = 10 \text{ Па.}$$

Здесь  $d_э$  – диаметр колпачка, м.

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

$$\Delta P_в = 70,16 + 151,76 + 10 = 231,92 \text{ Па;}$$

$$\Delta P_н = 70,16 + 205,26 + 10 = 285,42 \text{ Па.}$$

Полное гидравлическое сопротивление ректификационной колонны

$$\Delta P_k = 6 \cdot 231,92 + 4 \cdot 285,42 = 2533,2 \text{ Па.}$$

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						39
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

### 3 Тепловой расчет

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в дефлегматоре-конденсаторе находим по уравнению (52) [3, с. 321]:

$$Q_d = P(1 + R)r_p = 1,452(1 + 1,1) \cdot 1158,3 \cdot 10^3 = 3531888,36 \text{ Вт.} \quad (52)$$

Здесь

$$r_p = \bar{x}_p r_m + (1 - \bar{x}_p) r_b = 0,95 \cdot 1095,9 + (1 - 0,95) \cdot 2343,9 = 1158,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

где  $r_m$  и  $r_b$  – удельные теплоты конденсации метанола и воды при  $t_p = 66^\circ\text{C}$  (температуру определили по рис. 12 при  $x_p = 0,91$ ) [3, с. 541], кДж/кг.

Расход теплоты, получаемой в кубе-испарителе от греющего пара, находим по уравнению (53) [3, с. 321]:

$$Q_k = Q_d + P c_p t_p + W c_w t_w - F c_F t_F + Q_{\text{пот.}} \quad (53)$$

По рис. 12: при  $x_w = 0,03$   $t_w = 95^\circ\text{C}$ ;

при  $x_F = 0,38$   $t_F = 76^\circ\text{C}$ .

Определим теплоемкость смеси при  $t_w, t_F, t_p$ . По [3, с. 562]:

	$t_w = 95^\circ\text{C}$	$t_F = 76^\circ\text{C}$	$t_p = 66^\circ\text{C}$
$c_m, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$	2942	2846	2795,6
$c_b, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$	4210	4194	4188

Теплоемкость смеси определим по правилу аддитивности:

$$c_w = c_m \cdot \bar{x}_w + c_b \cdot (1 - \bar{x}_w) = 2942 \cdot 0,05 + 4210 \cdot (1 - 0,05) = 4146,6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$$

$$c_F = c_m \cdot \bar{x}_F + c_b \cdot (1 - \bar{x}_F) = 2846 \cdot 0,52 + 4194 \cdot (1 - 0,52) = 3493,04 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$$

$$c_p = c_m \cdot \bar{x}_p + c_b \cdot (1 - \bar{x}_p) = 2795,6 \cdot 0,95 + 4188 \cdot (1 - 0,95) = 2865,22 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$$

Таким образом

$$Q_k = 1,03 \cdot (3531888,36 + 1,452 \cdot 2865,22 \cdot 66 + 1,328 \cdot 4146,6 \cdot 95 - 2,78 \cdot 3493,04 \cdot 76) = 3699341,5 \text{ Вт,}$$

					<b>ФЮРА.066212.001 ПЗ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Студент	Санников Н.В.				Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Тихонов Н.В.					40	3
Конс.					ТПУ ИШНПТ		
Н. Контр.					НОЦ Н.М. Кижнера		
Руков. ООП	Беляев В.М.				Группа 4К51		

*Тепловой расчет*



где  $Q_{\text{пот}}$  – тепловые потери, приняты в размере 3% от полезно затрачиваемой теплоты.

Расход теплоты в паровом подогревателе исходной смеси:

$$Q = 1,05 F c_F (t_F - t_{\text{нач}}) = 1,05 \cdot 2,78 \cdot 3414,25(76 - 20) = 558106,6 \text{ Вт.} \quad (54)$$

Здесь тепловые потери приняты в размере 5%, удельная теплоемкость исходной смеси взята при средней температуре  $(76+20)/2=48^\circ\text{C}$ :

$$c_F = c_m \cdot \bar{x}_F + c_b \cdot (1 - \bar{x}_F) = 2707,4 \cdot 0,52 + 4180 \cdot (1 - 0,52) = 3414,25 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в водяном холодильнике дистиллята:

$$Q = P c_P (t_P - t_{\text{кон}}) = 1,452 \cdot 2758,18(66 - 20) = 184224,36 \text{ Вт.} \quad (55)$$

Здесь удельная теплоемкость дистиллята взята при средней температуре  $(66+20)/2=43^\circ\text{C}$ :

$$c_P = c_m \cdot \bar{x}_P + c_b \cdot (1 - \bar{x}_P) = 2683,4 \cdot 0,95 + 4179 \cdot (1 - 0,95) = 2758,18 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в водяном холодильнике кубового остатка:

$$Q = W c_W (t_W - t_{\text{кон}}) = 1,328 \cdot 4111,98(95 - 20) = 409552,71 \text{ Вт.} \quad (56)$$

Здесь удельная теплоемкость кубового остатка взята при средней температуре  $(95+20)/2=57,5^\circ\text{C}$ :

$$c_W = c_m \cdot \bar{x}_W + c_b \cdot (1 - \bar{x}_W) = 2753 \cdot 0,05 + 4183,5 \cdot (1 - 0,05) = 4111,98 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Расход греющего пара, имеющего давление  $p_{\text{абс}}=2 \text{ кгс/см}^2$  и влажность 5%:

а) в кубе-испарителе

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{Q_{\text{к}}}{r_{\text{г.п.}} \cdot x} = \frac{3699341,5}{2208 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 1,764 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

б) в подогревателе исходной смеси

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{Q}{r_{\text{г.п.}} \cdot x} = \frac{558106,6}{2208 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 0,266 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Всего:  $1,764+0,266=2,03 \text{ кг/с}$  или  $7,308 \text{ т/ч}$ .

Расход охлаждающей воды при нагреве ее на  $20^\circ\text{C}$ :

а) в дефлегматоре

$$V_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{д}}}{c_{\text{в}}(t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})\rho_{\text{в}}} = \frac{3531888,36}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,042 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

б) в водяном холодильнике дистиллята

$$V_{\text{в}} = \frac{184224,36}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,0022 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

в) в водяном холодильнике кубового остатка

$$V_B = \frac{409552,71}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,0049 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Всего: 0,042+0,0022+0,0049=0,0491 м<sup>3</sup>/с или 176,76 м<sup>3</sup>/ч.

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						42
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## 4 Механический расчёт

### 4.1 Выбор конструкционных материалов

Выбираем материал аппарата: сталь 09Г2С

Сталь 09Г2С относится к низколегированным сталям, общее количество легирующих добавок в которых не превышает 2,5% (в отличие от высоколегированных, где этот показатель - свыше 10%). Заменить сталь 09Г2с можно следующими марками: 09Г2, 09Г2дт, 09Г2т, 10Г2с, а также 19Мн-6.

Данный материал выбран из следующих соображений:

Низколегированная сталь 09Г2С обладает повышенной прочностью и ударной вязкостью в интервале температур от -400С до +4750С. Сталь в виде листового проката широко применяется для аппаратуры, работающей под давлением. Данная сталь хорошо деформируется и обрабатывается резанием. Легко сваривается всеми видами сварки.

### 4.2 Механический расчёт колонны

Целью механического расчета является обеспечение механической надежности работы проектируемого оборудования. Показателями или критериями механической надежности для деталей технологического оборудования являются прочность, жаропрочность и жаростойкость, жесткость, устойчивость и виброустойчивость, износостойкость, герметичность и т.п. Все эти критерии должны обеспечить сохранение во времени механических свойств деталей в установленных пределах значений всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Каждый из этих критериев при расчете проверяется по условию, где расчетное значение определяющего этот критерий параметра не должно превышать его допускаемое значение. Например, прочность проверяется сравнением расчетного и допускаемого напряжений:  $\sigma \leq [\sigma]$ . При этом данное условие необходимо проверить для всех состояний оборудования, в которых оно может находиться[6].

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Студент</i>	<i>Санников Н.В.</i>				<i>Механический расчет</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Тихонов Н.В.</i>						43	51
<i>Конс.</i>	<i>Беляев В.М.</i>					<i>ТПУ ИШНПТ</i>		
<i>Н. Контр.</i>						<i>НОЦ Н.М. Кижнера</i>		
<i>Руков. ООП</i>	<i>Беляев В.М.</i>					<i>Группа 4К51</i>		

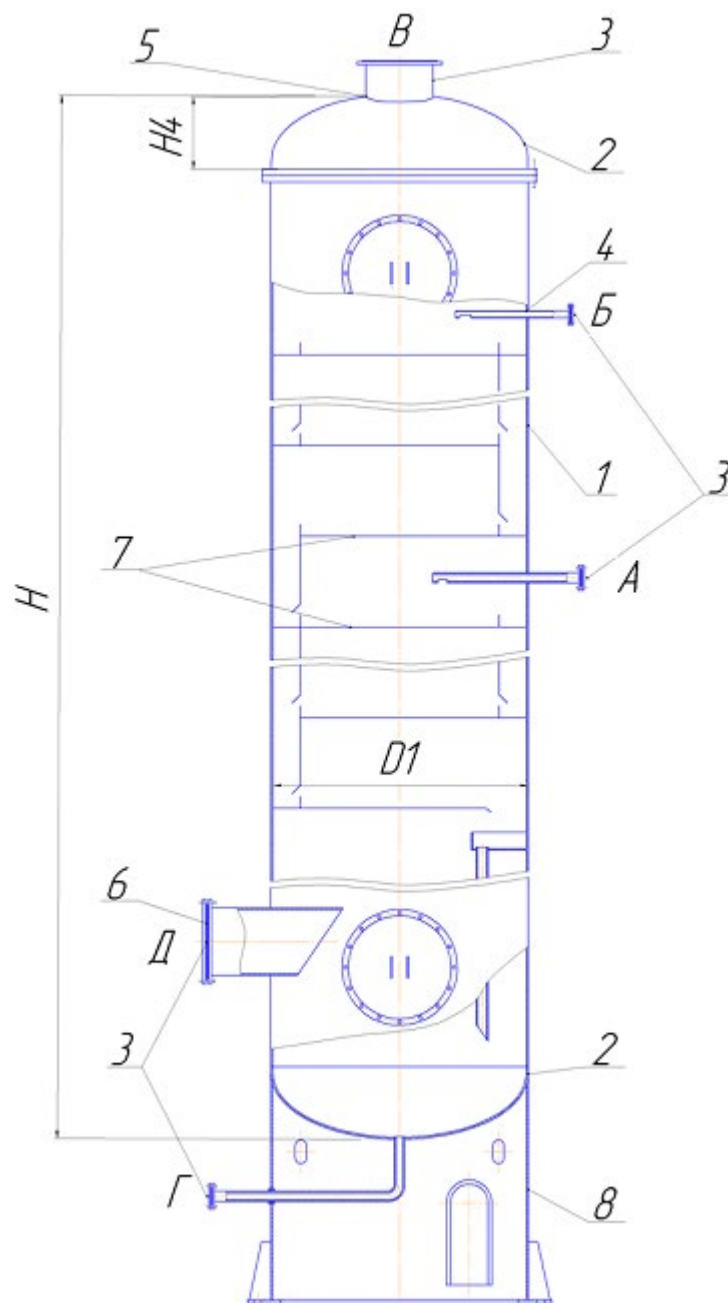


Рисунок 4.1 - Расчетная схема колонного аппарата с ситчатыми тарелками:

1-цилиндрическая обечайка; 2-крышка и днище эллиптические приварные; 3-расчетные штуцера (вход исходной смеси, вход флегмы, выход кубового остатка, выход паров дистиллята, вход пара); 4-расчетное отверстие под укрепление в обечайке; 5-расчетное отверстие под укрепление в эллиптической крышке; 6- расчетный фланец ( $D_y=400$  мм); 7- тарелки ситчатые; 8-опорная обечайка.

**Исходные данные:**

Рабочее давление в колонне, МПа,  $P = 0.1$

Расчетная температура,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{раб}} = 108$

					Лист
					44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066212.001 ПЗ

Внутренний диаметр верха аппарата, мм,  $D_1 = 1600$

Внутренний диаметр низа аппарата, мм,  $D_2 = 1600$

Высота аппарата, мм,  $H = 8.1$

Высота торосферической крышки, мм,  $H_4 = 460$

Высота торосферического днища, мм,  $H_5 = 460$

$P := 0.1$  МПа

$t_{\text{раб}} := 108$  °C

$D_1 := 1600$  мм

$D_2 := 1600$  мм

$H := 8.1$  мм

$H_4 := 460$  мм

$H_5 := 460$  мм

Основные свойства материала:

Плотность стали 09Г2С[7]:

$$\rho_{\text{мет}} := 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Допускаемое напряжение материала 09Г2С при температуре 20 градусов (температура гидроиспытаний)[8]:

$\sigma_{\text{тек}20} := 300$  МПа

коэффициент запаса по пределу текучести для условий испытаний[8]:

$n_t := 1.1$

Поправочный коэффициент  $\eta$ [8]:

$\eta := 1$

Допускаемое напряжение для условий испытаний[1]:

$$\sigma_{\text{н}20} := \text{Floor} \left[ \eta \cdot \left( \frac{\sigma_{\text{тек}20}}{n_t} \right), 0.5 \right] = 272.5 \text{ МПа} \quad (57)$$

Согласно [8] определяем допускаемое напряжение материала 09Г2С при температуре 108 °C:

$$\sigma_{\text{д}} := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \left[ \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 177 \\ 171 \end{pmatrix}, t_{\text{раб}} \right], 0.5 \right] = 176 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности сварных швов[8]:

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						45
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\phi := 1$$

**Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:**

Прибавку к расчетным толщинам находим согласно [9]

Скорость коррозии материала аппарата определяем от действия заданной среды:

$$П := 0.1 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$$

Срок эксплуатаций аппарата:

$$\tau := 20 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := П \cdot \tau = 2 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска:

$$c_2 := 0.1 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка:

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 2.1 \text{ мм}$$

**Расчет давлений необходимых для дальнейшего расчета:**

Плотность воды при гидроиспытаниях:

$$\rho_{\text{вод}} := 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Ускорение свободного падения:

$$g := 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Высота гидравлического столба в аппарате принимаем равной высоте аппарата.

$$H_{\text{гид}} := H = 8.1 \text{ м}$$

Давление гидравлического столба при гидроиспытаниях:

$$P_{\text{гид}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{10^6} = 0.079 \text{ МПа} \quad (58)$$

Расчетное давление в аппарате при рабочих условиях:

$$P_{\text{рас}} := (P + P_{\text{гид}}) = 0.179 \text{ МПа} \quad (59)$$

Давление при гидравлических испытаниях:

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$P_{и} := 1.25 \cdot P_{гид} \cdot \frac{\sigma_{и20}}{\sigma_{д}} = 0.153 \text{ МПа} \quad (60)$$

Условное давление:

$$P_{усл} := P_{рас} \cdot \frac{\sigma_{и20}}{\sigma_{д}} = 0.277 \text{ МПа} \quad (61)$$

### 4.3 Расчет толщины стенки (1)

Целью данного расчёта является определение толщины стенок, удовлетворяющих условию прочности.

Согласно [9], определяем толщину стенки обечайки, проводим проверку на прочность стенок корпуса аппарата.

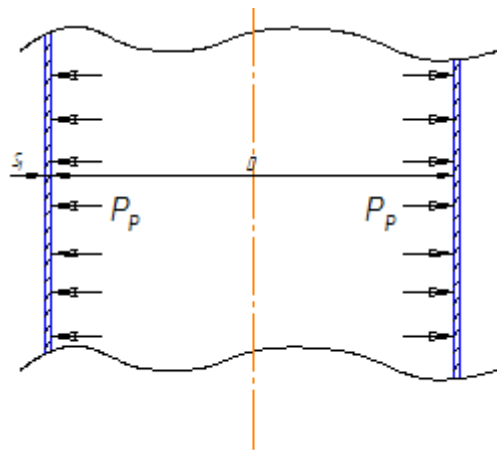


Рисунок 4.2 - Расчетная схема обечайки

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении[9]:

$$s_{p1} := \max \left( \left( \begin{array}{l} P_{рас} \cdot \frac{D_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д} - P_{рас}} \\ P_{и} \cdot \frac{D_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - P_{и}} \end{array} \right) \right) = 0.815 \text{ мм} \quad (62)$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки[9]:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 2.915 \text{ мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин:

$$s_1 := 6 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории [9]:

$$\text{Проверка}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмом. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D_1} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D_1} > 0.1 \end{cases}$$

**Проверка<sub>1</sub> = "Условия применения формул безмом. теории выполняются"**

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях[9]:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D_1 + (s_1 - c)} = 0.856 \text{ МПа} \quad (63)$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях[9]:

$$P_{и1} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D_1 + (s_1 - c)} = 1.325 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления при рабочих условиях: [9]

$$\text{Проверка}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Проверка<sub>2</sub> = "Условие прочности стенки выполняется"**

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления при гидраиспытаниях: [9]

$$\text{Проверка}_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{и1} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Проверка<sub>3</sub> = "Условие прочности стенки выполняется"**

Из полученных расчетов видно, что условие прочности толщины стенки обечайки при  $s_1 = 6$  мм выполняется.

#### 4.4 Расчёт торосферической крышки (2)

Целью данного расчёта является определение толщины стенки крышки, удовлетворяющий условию прочности.

Расчет проводим по [9]



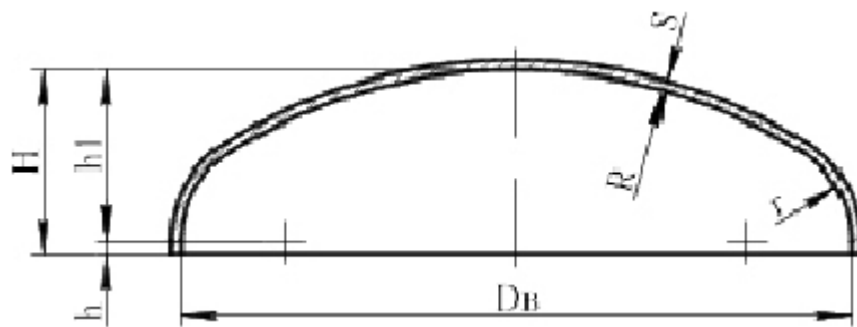


Рисунок 4.3 - Торосферическое днище

Наружный диаметр торосферической крышки:

$$D_{11} := 1612 \text{ мм}$$

$$\frac{P_{\text{рас}}}{\sigma_{\text{Д}}} = 1.018 \times 10^{-3}$$

$$\frac{P_{\text{н}}}{\sigma_{\text{н20}}} = 5.627 \times 10^{-4}$$

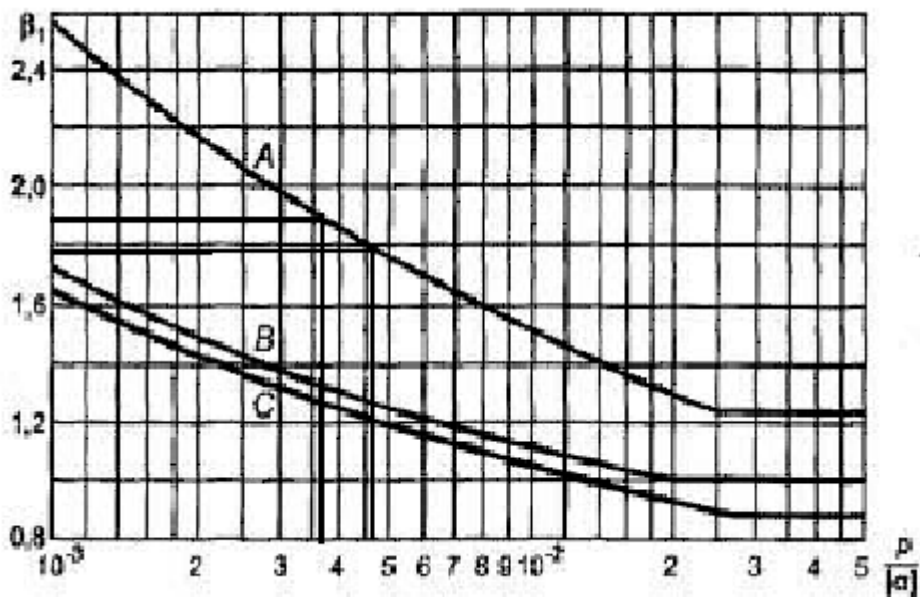


Рисунок 4.4 - График для определения  $\beta_1$

Коэффициент  $\beta_1$  для рабочих условий:

$$\beta_{1_1} := 1.6$$

Коэффициент  $\beta_1$  для гидраиспытания:

$$\beta_{1_2} := 1.5$$

Толщина стенки в краевой зоне[9]:

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

$$s_{4p\_1} := \max\left(\frac{D_{11} \cdot \beta_{1\_1} \cdot P_{рас}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д}}, \frac{D_{11} \cdot \beta_{1\_2} \cdot P_{и}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20}}\right) = 1.313 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_{и4\_1} := s_{4p\_1} + c = 3.413 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки торосферической крышки в краевой зоне:

$$s_{4\_1} := 6 \text{ мм}$$

Высота выпуклой части крышки без учёта цилиндрической части:

$$H_4 := 460 \text{ мм}$$

Радиус кривизны в вершине днища равен:

$$R_1 := \frac{D_{11}^2}{4 \cdot H_4} = 1.412 \times 10^3 \text{ мм} \quad (64)$$

Для сварных днищ толщина стенки в центральной зоне:

$$s_{4p\_2} := \max\left(\frac{R_1 \cdot P_{рас}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д} - 0.5 \cdot P_{рас}}, \frac{R_1 \cdot P_{и}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - 0.5 \cdot P_{и}}\right) = 0.719 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_{и4\_2} := s_{4p\_2} + c = 2.819 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки торосферической крышки в центральной зоне:

$$s_{4\_2} := 4 \text{ мм}$$

Определяем коэффициент  $\beta_2$ :

$$\beta_2 := \max\left[0.9, 0.12 \cdot \left(3 \sqrt{\frac{D_{11}}{s_{4\_1} - c}} + 3.2\right)\right] = 1.278 \quad (65)$$

Допускаемое избыточное давление из условия прочности краевой зоны вычисляют по формуле[9]:

Для рабочих условий:

$$P_{д4\_1} := \frac{2 \cdot (s_{4\_1} - c) \cdot \sigma_{д} \cdot \phi}{D_{11} \cdot \beta_2} = 0.666 \text{ МПа} \quad (66)$$

Для гидраиспытания:

$$P_{и4\_1} := \frac{2 \cdot (s_{4\_1} - c) \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi}{D_{11} \cdot \beta_2} = 1.032 \text{ МПа}$$

**Проверка условия прочности стенок краевой зоны:**

$$\text{Проверка}_9 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{и4\_1} > P_{и} \wedge P_{д4\_1} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

						Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проверка<sub>9</sub> = "Условие прочности выполняется"

Допускаемое избыточное давление из условия прочности центральной зоны:

Для рабочих условий:

$$P_{д4\_2} := \frac{2 \cdot (s_{4\_2} - c) \cdot \sigma_{Д} \cdot \phi}{R_1 + 0.5 \cdot (s_{4\_2} - c)} = 0.473 \text{ МПа}$$

Для гидроиспытания:

$$P_{и4\_2} := \frac{2 \cdot (s_{4\_2} - c) \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi}{R_1 + 0.5 \cdot (s_{4\_2} - c)} = 0.733 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок в центральной зоне:

Проверка<sub>10</sub> :=  $\begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{и4\_2} > P_{и} \wedge P_{д4\_2} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Проверка<sub>10</sub> = "Условие прочности выполняется"

Из полученных расчетов видно, что условие прочности толщины стенки крышки при  $s_{4\_2} = 4$  мм выполняется.

#### 4.5 Расчёт торосферического днища (2)

Целью данного расчёта является определение толщины стенки днища, удовлетворяющий условию прочности.

Расчет проводим по [9]

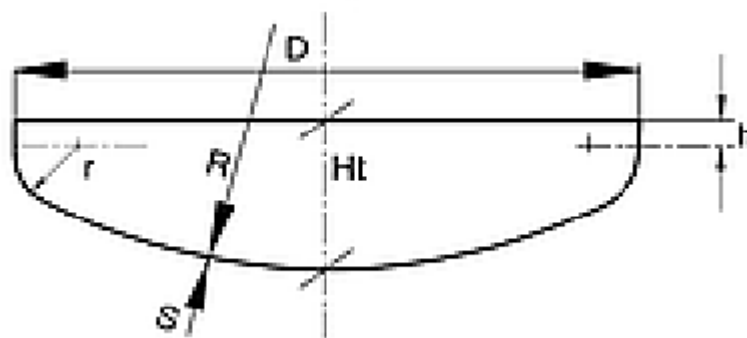


Рисунок 4.5 - Схема торосферического днища

Наружный диаметр торосферического днища:

$$D_{21} := 1612 \text{ мм}$$

Толщина стенки в краевой зоне:

$$s_{5p\_1} := \max\left(\frac{D_{21} \cdot \beta_{1\_1} \cdot P_{pac}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D}, \frac{D_{21} \cdot \beta_{1\_2} \cdot P_{и}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20}}\right) = 1.313 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_{и5\_1} := s_{5p\_1} + c = 3.413 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки торосферического днища в краевой зоне:

$$s_{5\_1} := 6 \text{ мм}$$

Высота выпуклой части крышки без учёта цилиндрической части:

$$H_5 := 400 \text{ мм}$$

Радиус кривизны в вершине днища равен:

$$R_2 := \frac{D_{21}^2}{4 \cdot H_5} = 1.624 \times 10^3 \text{ мм}$$

Для сварных днищ толщина стенки в центральной зоне:

$$s_{5p\_2} := \max\left(\frac{R_2 \cdot P_{pac}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - 0.5 \cdot P_{pac}}, \frac{R_2 \cdot P_{и}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - 0.5 \cdot P_{и}}\right) = 0.827 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стеки:

$$s_{и5\_2} := s_{5p\_2} + c = 2.819 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки торосферического днища в центральной зоне:

$$s_{5\_2} := 4 \text{ мм}$$

Определяем коэффициент  $\beta_2$ :

$$\beta_2 := \max\left[0.9, 0.12 \cdot \left(3 \sqrt{\frac{D_{21}}{s_{5\_1} - c}} + 3.2\right)\right] = 1.278$$

Допускаемое избыточное давление из условия прочности краевой зоны вычисляются по формуле:

Для рабочих условий:

$$P_{д5\_1} := \frac{2 \cdot (s_{5\_1} - c) \cdot \sigma_D \cdot \phi}{D_{21} \cdot \beta_2} = 0.666 \text{ МПа}$$

Для гидроиспытания:

$$P_{и5\_1} := \frac{2 \cdot (s_{5\_1} - c) \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi}{D_{21} \cdot \beta_2} = 1.032 \text{ МПа}$$

**Проверка условия прочности стенок краевой зоны:**

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



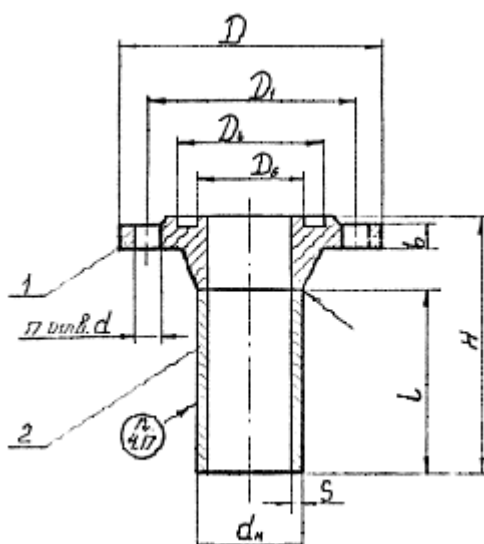


Рисунок 4.6 - Штуцера с фланцами приваренными встык с уплотнительной поверхностью типа шип-паз

Подбор стандартных штуцеров согласно [10]

Конструктивно принимаем штуцера с уплотнительной поверхностью шип-паз так как среда внутри аппарат взрывоопасная.

**Расчет диаметров патрубков:**

**Штуцер для выхода жидкости из куба (Г)**

Из технологического расчета берем следующие исходные данные:

Массовый расход смеси, кг/ч,  $L_{f1} = 4780.8$

Скорость движения, м/с,  $\omega_1 = 1.43$

Плотность смеси, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_1 = 945.6$

$$\rho_1 := 945.6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\pi := 3.14$$

$$L_{f1} := 4780.8 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\omega_1 := 1.43 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Объемный расход смеси:

$$V_{f1} := \frac{L_{f1}}{\rho_1 \cdot 3600} = 1.404 \times 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (67)$$

Диаметр штуцера выхода жидкости из куба:

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$d_{\text{БК}} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{\text{fl}})}{\pi \cdot \omega_1}} = 0.035 \text{ м} \quad (68)$$

Принимаем  $Dy=50$  мм

Штуцер 50х3

Длина 150 мм

Толщина стенки 3 мм

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С, материал такой же как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

### Штуцер для входа исходной смеси (А)

Из технологического расчета берем следующие исходные данные:

Массовый расход смеси, кг/ч,  $L_{\text{п}} = 10008$

Скорость движения, м/с,  $\omega_{\text{п}} = 1.69$

Плотность смеси, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{п}} = 836.53$

$$\rho_{\text{п}} := 836.53 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$L_{\text{п}} := 10008 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\omega_{\text{п}} := 1.69 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Объемный расход смеси:

$$V_{\text{п}} := \frac{L_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot 3600} = 3.323 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Диаметр штуцера для входа исходной смеси:

$$d_{\text{п}} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{\text{п}})}{\pi \cdot \omega_{\text{п}}}} = 0.05 \text{ м}$$

Принимаем  $Dy=50$  мм

Штуцер 50х3

Длина 150 мм

Толщина стенки 3 мм

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С, материал такой же как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

Штуцер 150 - 0,1 - 2 - 4 - 150 - 09Г2С АТК 24.218.06-90.

Пример условного обозначения штуцера  $Dy 50$  мм,  $P_y 0,1$  МПа, типа 2, исполнения 4,  $l=150$  мм, фланец из стали 09Г2С патрубков из стали 20:

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## Расчет патрубков штуцеров диаметром 50 мм

Расчетная толщина стенки патрубков при внутреннем избыточном давлении[9]:

$$s_{p7} := \max \left( \left( \frac{P_{рас} \cdot \frac{50}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д} - P_{рас}}}{P_{и} \cdot \frac{50}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - P_{и}}} \right) \right) = 0.025 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубков:

$$s_{и7} := s_{p7} + c = 2.125 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин

$$s_7 := 3 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории [9]:

$$\text{Проверка}_{16} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмом. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_7 - c}{50} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_7 - c}{50} > 0.1 \end{cases}$$

**Проверка<sub>16</sub> = "Условия применения формул безмом. теории выполняются"**

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д7} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi \cdot (s_7 - c)}{50 + (s_7 - c)} = 6.224 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и7} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_7 - c)}{50 + (s_7 - c)} = 9.637 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при рабочих условиях: [9]

$$\text{Проверка}_{17} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д7} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Проверка<sub>17</sub> = "Условие прочности стенки выполняется"**

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при гидроиспытаниях: [9]

$$\text{Проверка}_{18} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{и7} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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



Проверка<sub>18</sub> = "Условие прочности стенки выполняется"

Подбираем стандартный фланец согласно [10]

$D_y$	$d_n$	$D_\phi$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_5$	$z$	ГОСТ 1255-67	
мм					M12	4	$h_r$ , мм	Масса, кг
50	57	140	110	90			10	1.04

### Штуцер для входа пара (Д)

Из технологического расчета берем следующие исходные данные:

Массовый расход смеси, кг/ч,  $L_{\text{П2}} = 7776$

Скорость движения, м/с,  $\omega_{\text{П2}} = 22.66$

Плотность смеси, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_2 = 0.759$

$$\rho_2 := 0.759 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\omega_{\text{П2}} := 22.66 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$L_{\text{П2}} := 7776 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Объемный расход смеси:

$$V_{\text{П2}} := \frac{L_{\text{П2}}}{\rho_2 \cdot 3600} = 2.846 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Диаметр штуцера для входа пара:

$$d_{\text{вп}} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{\text{П2}})}{\pi \cdot \omega_{\text{П2}}}} = 0.4 \text{ м}$$

Принимаем  $D_y=400$  мм

Штуцер 400х4

Длина 200 мм

Толщина стенки 4 мм

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С, материал такой же как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

### Штуцер для выхода паров дистиллята (В)

Из технологического расчета берем следующие исходные данные:

Массовый расход смеси, кг/ч,  $L_{\text{П3}} = 9864$

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Скорость движения, м/с,  $\omega_3 = 21.53$

Плотность смеси, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_3 = 1.013$

$$L_{\text{г3}} := 9864 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\rho_3 := 1.013 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\omega_3 := 21.53 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Объемный расход смеси:

$$V_{\text{г3}} := \frac{L_{\text{г3}}}{3600 \cdot \rho_3} = 2.705 \quad \text{кг/с}$$

Диаметр штуцера для выхода паров дистиллята:

$$d_{\text{вм}} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{\text{г3}})}{\pi \cdot \omega_3}} = 0.4 \quad \text{м}$$

Принимаем  $D_y = 400$  мм

Штуцер 400х4

Длина 200 мм

Толщина стенки 4 мм

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С, материал такой же как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

#### Расчет патрубков штуцеров диаметром 400 мм

Расчетная толщина стенки патрубков при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{\text{р9}} := \max \left( \left( \frac{P_{\text{рас}} \cdot \frac{400}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д}} - P_{\text{рас}}}}{P_{\text{н}} \cdot \frac{400}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{н20}} - P_{\text{н}}}} \right) \right) = 0.204 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубков:

$$s_{\text{н9}} := s_{\text{р9}} + c = 2.304 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин:

$$s_9 := 4 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории [9]:

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\text{Проверка}_{22} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмом. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_9 - c}{400} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_9 - c}{400} > 0.1 \end{cases}$$

**Проверка<sub>22</sub> = "Условия применения формул безмом. теории выполняются"**

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д9} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi \cdot (s_9 - c)}{100 + (s_9 - c)} = 6.563 \text{ МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и9} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_9 - c)}{100 + (s_9 - c)} = 10.162 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при рабочих условиях: [9]

$$\text{Проверка}_{23} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д9} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Проверка<sub>23</sub> = "Условие прочности стенки выполняется"**

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при гидраиспытаниях: [9]

$$\text{Проверка}_{24} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{и9} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Проверка<sub>24</sub> = "Условие прочности стенки выполняется"**

Подбираем стандартный фланец согласно [10]

$D_y$	$d_{и}$	$D_{\phi}$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_6$	$z$	ГОСТ 1255-67	
мм							$h$ , мм	Масса, кг
400	426	535	495	465	M20	16	18	11.6

### Штуцер для входа флегмы (Б)

Из технологического расчета берем следующие исходные данные:

Массовый расход смеси, кг/ч,  $L_{f4} = 9864$

Скорость движения, м/с,  $\omega_4 = 21.53$

Плотность смеси, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_4 = 1.013$

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

$$L_{f4} := 5227.2 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\rho_4 := 758.8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\omega_4 := 1.68 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Объемный расход смеси:

$$V_{f4} := \frac{L_{f4}}{3600 \cdot \rho_4} = 1.914 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Диаметр штуцера для фхода флегмы:

$$d_{op} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{f4})}{\pi \cdot \omega_4}} = 0.038 \text{ мм}$$

Принимаем  $D_y = 40$  мм

Штуцер 40x3

Длина 150 мм

Толщина стенки 3 мм

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С, материал такой же как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

#### Расчет патрубка штуцера на орошение диаметром 40 мм

Расчетная толщина стенки патрубков при внутренним избыточном давлении:

$$s_{p10} := \max \left( \left( \frac{P_{pac} \cdot \frac{40}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_{pac}}}{P_{и} \cdot \frac{40}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - P_{и}}} \right) \right) = 0.02 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубков:

$$s_{и10} := s_{p10} + c = 2.12 \text{ мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин

$$s_{10} := 3 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории [9]:

$$\text{Проверка}_{25} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмом. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_{10} - c}{40} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_{10} - c}{40} > 0.1 \end{cases}$$

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист 60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проверка<sub>25</sub> = "Условия применения формул безмом. теории выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д10} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi \cdot (s_{10} - c)}{80 + (s_{10} - c)} = 3.916 \text{ МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и10} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_{10} - c)}{80 + (s_{10} - c)} = 6.063 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при рабочих условиях: [9]

Проверка<sub>26</sub> :=  $\begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д10} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Проверка<sub>26</sub> = "Условие прочности стенки выполняется"

Проверка условия прочности стенок патрубка от действия внутреннего давления при гидроиспытаниях: [9]

Проверка<sub>27</sub> :=  $\begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{и10} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Проверка<sub>27</sub> = "Условие прочности стенки выполняется"

Подбираем стандартный фланец согласно [10]

$D_y$	$d_n$	$D_\phi$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – I	
					$d_6$	$z$	ГОСТ 1255-67	
мм							$h$ , мм	Масса, кг
40	45	130	100	80	M12	4	10	0.95

Таблица 4.1 – Стандартные штуцера

$D_y$ мм	$D$ мм	$L$ мм	$H$ мм	$d_n$	$S$ мм	$n$
40	130	150	155	45	3,5	4
50	140	150	155	57	4	4
400	535	200	213	426	12	16

Таблица 4.2 – Штуцера

Обозначение	Наименование	Кол.	Проход условный D, мм	Давление условное P, МПа
А	Вход смеси	1	50	0,1
Б	Вход флегмы	1	40	0,1
В	Выход паров дистиллята	1	400	0,1
Г	Выход жидкости из куба	1	50	0,1
Д	Вход пара	1	400	0,1
Л	Люк 1-4	4	500	0,1

**Подбор и расчет люка-лаза(Л)**

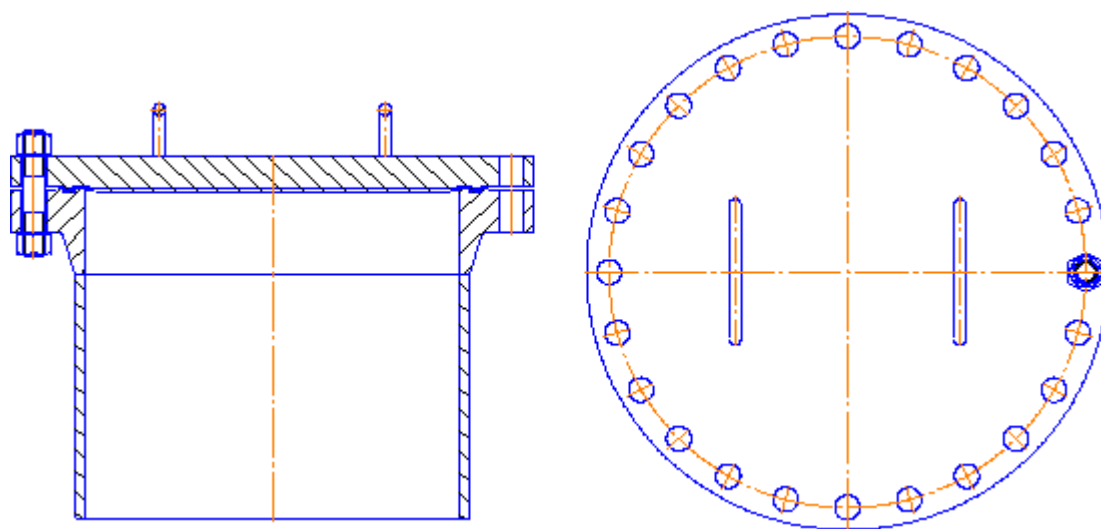


Рисунок 4.7 - Рисунок люк-лак с уплотнительной поверхностью шип-паз ОСТ 26-2006-83.

Пример условного обозначения люка исполнения 1 диаметром  $D_{в} = 500$  мм на условное давление 0,1 МПа с размером  $S = 10$  мм, основной шифр материального исполнения люка 2, дополнительный шифр материального исполнения люка 3, шифр материального исполнения крепежных деталей 1:

Люк 1-500-0,1-12-2-3-1 ОСТ 26-2006-83.

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

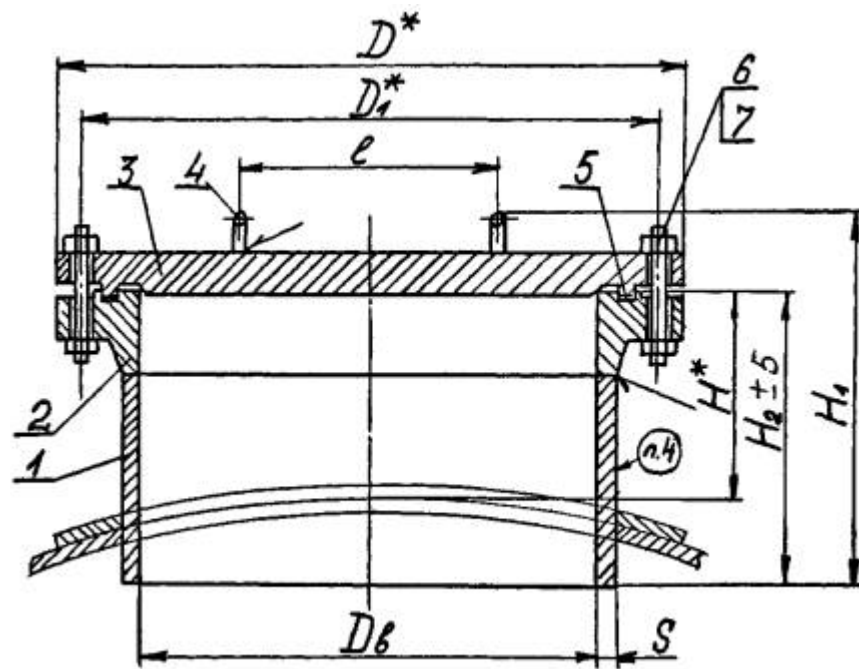


Рисунок 4.8 - Рисунок люк-лак с уплотнительной поверхностью шип-паз с конструктивными размерами

#### Расчет на прочность плоской крышки люка-лаза:

Расчет проводим согласно [10]

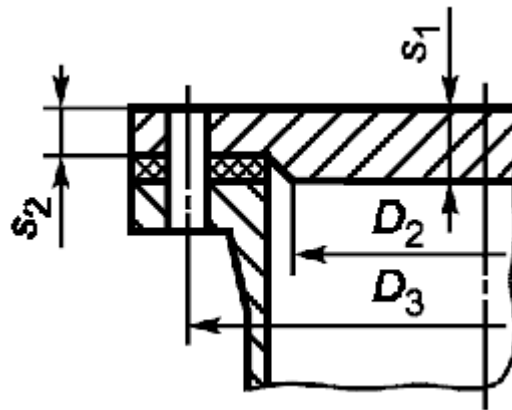


Рисунок 4.9 - Схема плоской крышки

Расчетный диаметр:

$$D_p := 500 \text{ мм}$$

Коэффициент, зависящий от способа закрепления крышки:

$$K := 0.4$$

Коэффициент ослабления, при отсутствии отверстий в крышке:

$$K_0 := 1$$

Расчетная толщина крышки:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$s_{pk} := \max \left( \left( \begin{array}{l} K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_{рас}}{\phi \cdot \sigma_D}} \\ K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_{и}}{\phi \cdot \sigma_{и20}}} \end{array} \right) \right) = 6.382 \quad \text{мм} \quad (69)$$

Исполнительная толщина стенки крышки:

$$s_{ик} := s_{pk} + c = 8.482 \quad \text{мм}$$

Принимаем исполнительную толщину крышки:

$$s_k := 14 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул для расчета плоских крышек:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \frac{14 - c}{D_p} \leq 0.11 \\ \text{"Условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условия выполняются"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

допускаемое внутреннее давление при гидроиспытаниях:

$$P_{д5} := \left[ \frac{(s_k - c)}{(K \cdot K_0 \cdot D_p)} \right]^2 \cdot \phi \cdot \sigma_D = 0.623 \quad \text{МПа} \quad (70)$$

допускаемое внутреннее давление при рабочих условиях:

$$P_{д6} := \left[ \frac{(s_k - c)}{(K \cdot K_0 \cdot D_p)} \right]^2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} = 0.965 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенки крышки:

Проверка условия прочности крышки от действия внутреннего давления при гидраиспытаниях

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки крышки выполняется"} & \text{if } P_{д6} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Пров<sub>2</sub> = "Условие прочности стенки крышки выполняется"**

Проверка условия прочности крышки от действия внутреннего давления при рабочих условиях:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки крышки выполняется"} & \text{if } P_{д6} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Пров<sub>3</sub> = "Условие прочности стенки крышки выполняется"**



Из полученных расчетов были определены диаметры штуцеров (А, Б, В, Г, Д), а также были посчитаны патрубки штуцеров на прочность стенки. Был подобран люк-лаз (Л) и произведен его расчет на прочность плоской крышки.

#### 4.7 Укрепление отверстий для патрубков штуцеров (З)

Цель данного расчета, узнать, необходимо ли укреплять отверстия на определенном участке колонны для штуцеров.

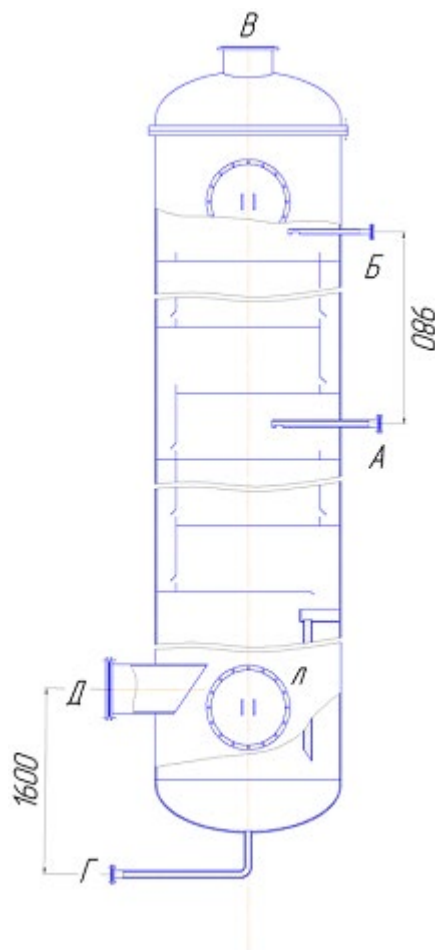


Рисунок 4.10 - Расположение штуцеров на колонне

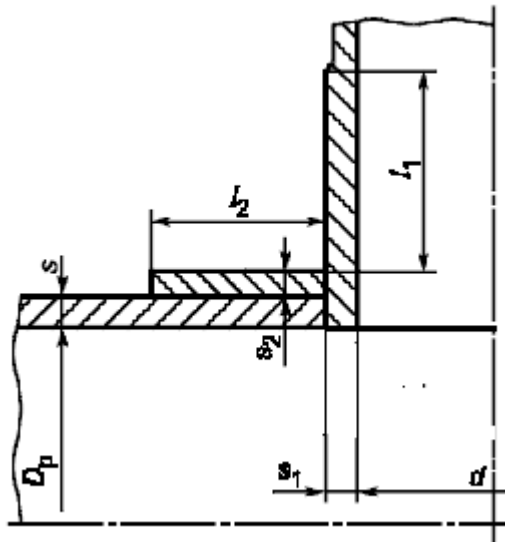


Рисунок 4.11 - Укрепление отверстий при наличии проходного штуцера

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

- для цилиндрической обечайки:

$$D_{p1} := D_1 = 1.6 \times 10^3 \text{ мм}$$

- для торосферической крышки:

$$D_{p3} := 2 \cdot R_1 = 2.825 \times 10^3 \text{ мм}$$

- для торосферического днища:

$$D_{p4} := 2 \cdot R_2 = 3.248 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий в стенках обечайки, ось которого совпадает с нормалью к поверхности:

расчет проводим по [10]

Расчетный диаметр отверстия штуцера входа сырья на тарелки (такой же диаметр имеет штуцер для выхода готовой продукции):

$$d_1 := \text{ceil}(50 + 2 \cdot c) = 55 \text{ мм} \quad (71)$$

Расчетный диаметр отверстия штуцера для выхода конденсата из куба(такой же диаметр имеет штуцер для входа парожидкосной смеси):

$$d_2 := \text{ceil}(400 + 2 \cdot c) = 405 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия штуцера для орошения

$$d_3 := \text{ceil}(40 + 2 \cdot c) = 45 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- для цилиндрической обечайки:

$$d_{01} := 2 \cdot \left( \frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s_1 - c)} = 629.57 \text{ мм} \quad (72)$$

- для торосферической крышки:

$$d_{03} := 2 \cdot \left( \frac{s_{4\_2} - c}{s_{4p\_2}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p3} \cdot (s_{4\_2} - c)} = 269.834 \text{ мм}$$

- для торосферического днища:

$$d_{04} := 2 \cdot \left( \frac{s_{5\_2} - c}{s_{5p\_2}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_{p4} \cdot (s_{5\_2} - c)} = 235.227 \text{ мм}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцера входа питания на тарелки:

$$\text{Расч}_{\text{отв1}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"} & \text{if } d_1 < d_{01} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Расч}_{\text{отв1}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцера выхода из куба:

$$\text{Расч}_{\text{отв2}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"} & \text{if } d_2 < d_{01} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Расч}_{\text{отв2}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцера на орошение:

$$\text{Расч}_{\text{отв3}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"} & \text{if } d_3 < d_{01} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Расч}_{\text{отв3}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для люка-лаза на обечайки:

$$\text{Расч}_{\text{отв5}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"} & \text{if } d_3 < d_{01} \wedge d_1 < d_{01} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Расч}_{\text{отв5}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"}$$

Из полученных расчетов выясняем, что отверстия не нуждаются в укреплении для нашей колонны: для корпуса и для эл.крышки/днища; также нет необходимости укреплять отверстия ввиду наличия избыточной толщины оболочки для цилиндрической обечайки.

Все отверстия в колонне (включая отверстия под люки-лазы ( $D=500\text{мм}$ )) не превышают данного значения.

#### 4.8 Прочностной расчет фланцевого соединения люка-лаза (Л)

Цель данного расчета определить тип фланцевого соединения, произвести расчет на прочность болтов при гидроиспытаниях и при работе, а так же произвести расчет на статическую прочность и проверить углы поворотов фланца.

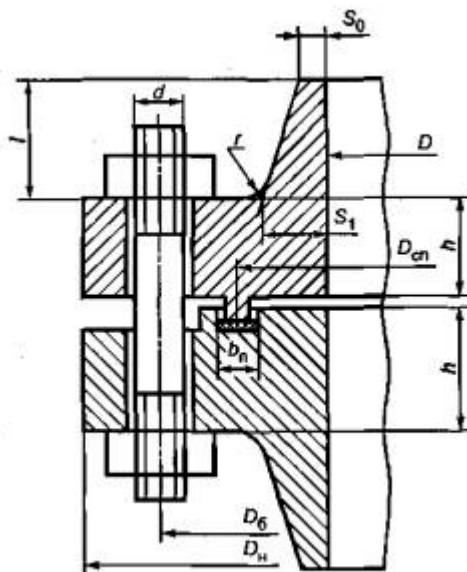


Рисунок 4.12 - Фланцевое соединения с приварными встык фланцами с гладкой уплотнительной поверхностью типа шип – паз

Тип фланца: фланцевое соединения приварные встык

Тип уплотнительной поверхности: шип-паз

Расчет проводим по [11]

Исходные данные для расчета[12]:

Внутренний диаметр, мм,  $D = 500$

Наружный диаметр фланца, мм,  $D_n = 640$

Диаметр болтовой окружности, мм,  $D_b = 600$

Толщина фланца, мм,  $h = 25$

Наружный диаметр, мм,  $D_{нр} = 561$

Внутренний диаметр, мм,  $D_{вр} = 528$

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

Толщина прокладки, мм,  $h_{\text{п}} = 2$

Ширина прокладки, мм,  $b_{\text{п}} = 10$

Диаметр болта, мм,  $d = 22$

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

Толщина цилиндрической части втулки принята, мм,  $s_0 = 10$

Толщина конической части втулки, мм,  $s_{1\text{в}} = 18$

Высота втулки, мм,  $h_{\text{в}} = 20$

Количество болтов,  $n = 16$

$$D := 500 \text{ мм}$$

$$D_{\text{н}} := 640 \text{ мм}$$

$$D_{\text{б}} := 600 \text{ мм}$$

$$h := 25 \text{ мм}$$

$$D_{\text{нд}} := 561 \text{ мм}$$

$$D_{\text{вд}} := 528 \text{ мм}$$

$$h_{\text{п}} := 2 \text{ мм}$$

$$b_{\text{п}} := 10 \text{ мм}$$

$$d := 22 \text{ мм}$$

$$s_0 := 10 \text{ мм}$$

$$s_{1\text{в}} := 18 \text{ мм}$$

$$h_{\text{в}} := 20 \text{ мм}$$

$$n := 16$$

Уклон втулки (принимаем):

$$i := \frac{1}{3}$$

Средний диаметр прокладки[11]:

$$D_{\text{сп}} := D_{\text{нд}} - D_{\text{вд}} = 33 \text{ мм} \quad (73)$$

Расчетная температура фланцевого соединения (не изолированного):

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$t_{\phi} := t_{\text{раб}} \cdot 0.96 = 103.68 \quad (74)$$

Расчетная температура болтов:

$$t_{\text{б}} := t_{\text{раб}} \cdot 0.85 = 91.8 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

материал для болтов: Сталь 35Х

допускаемое напряжение материала при температуре 20<sup>0</sup>с для болта согласно [8]:

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

допускаемое напряжение материала болта при рабочей температуре  $t_{\text{б}} = 91.8$ <sup>0</sup>с согласно [8]:

$$\sigma_{\text{б}} := \text{Floor} \left[ \text{interp} \left[ \left( \begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 155 \\ 153 \end{array} \right), t_{\text{б}}, 0.5 \right] \right] = 153 \text{ МПа}$$

материал для фланцевого соединения 09Г2С

допускаемое напряжение материала при гидроиспытаниях для фланцев согласно [8]:

$$\sigma_{\phi 20} := \sigma_{\text{и}20} = 272.5 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала при рабочей температуре  $t_{\phi} = 103.68$ <sup>0</sup>с для фланцев согласно [8]:

$$\sigma_{\phi} := \text{Floor} \left[ \text{interp} \left[ \left( \begin{array}{c} 100 \\ 150 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 177 \\ 171 \end{array} \right), t_{\phi}, 0.5 \right] \right] = 176.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости материала болта при температуре 20 градусов:

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

Модуль упругости материала фланца 09Г2С согласно [8] для низколегированных сталей, при температуре 20<sup>0</sup>с

$$E_{20} := 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости материала фланца при рабочей температуре  $t_{\phi} = 103.68$ <sup>0</sup>с:

$$E := \text{Floor} \left[ \text{interp} \left[ \left( \begin{array}{c} 100 \\ 150 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 2.00 \cdot 10^5 \\ 1.99 \cdot 10^5 \end{array} \right), t_{\phi}, 0.5 \right] \right] = 1.999 \times 10^5 \text{ МПа} \quad (75)$$

Модуль упругости материала болта при рабочей температуре  $t_{\text{б}} = 91.8$ <sup>0</sup>с (Сталь 35Х теплоустойчивая и коррозионно-стойкая хромистая):

$$E_{\text{б}} := \text{Floor} \left[ \text{interp} \left[ \left( \begin{array}{c} 20 \\ 100 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{array} \right), t_{\text{б}}, 0.5 \right] \right] = 1.918 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Температурный коэффициент линейного расширения материала фланцев 09Г2С согласно [8]

$$\alpha_{\Phi} := 12.6 \cdot 10^{-6}$$

Температурный коэффициент линейного расширения болтов 35Х согласно [8]:

$$\alpha_{\text{б}} := 13.2 \cdot 10^{-6}$$

Эффективная ширина прокладки: -для плоских прокладок:

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\text{п}} & \text{if } b_{\text{п}} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \sqrt{b_{\text{п}}}, 1) & \text{otherwise} \end{cases} = 10 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки:

Прокладочный коэффициент:

$$m := 2.5$$

Удельное давление обжатия прокладки:

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

Допускаемое удельное давление:

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

Коэффициент обжатия:

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

Условный модуль сжатия прокладки:

$$E_{\text{п}} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке,

$$P_{\text{обж}} := 0.5\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P_{\text{рас}}| = 232.136 \text{ Н} \quad (76)$$

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

$$R_{\text{п}} := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_{\text{рас}} & \text{if } P_{\text{рас}} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} = 464.273 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов:

$$f_{\text{б}} := 281.5 \text{ мм}^2$$

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

$$A_6 := n \cdot f_6 = 4.504 \times 10^3 \text{ мм}^2 \quad (77)$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{сп})^2 \cdot P_{рас} = 153.21 \text{ Н} \quad (78)$$

Податливость прокладки

$$y_п := \frac{h_п \cdot K_{обж}}{E_п \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_п} = 8.686 \times 10^{-6} \text{ мм/Н} \quad (79)$$

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

$$L_{60} := 2 \cdot h + h_п = 52 \text{ мм} \quad (80)$$

Эффективная длина болта при определении податливости

$$L_6 := \text{ceil}(L_{60} + 0.28 \cdot d) = 59 \text{ мм} \quad (81)$$

Податливость болтов

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{620} \cdot A_6} = 6.093 \times 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (82)$$

Расчетные параметры фланцев:

Параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_0} = 70.711 \text{ мм} \quad (83)$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.28$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.804 \quad (84)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 8.804 \quad (85)$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 8.085 \quad (86)$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 4.133 \quad (87)$$

										Лист
										72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА.066212.001 ПЗ					



Коэффициенты  $\beta_F$ ,  $\beta_V$  и  $f$ , зависящие от соотношения размеров втулки фланца, для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с конической втулкой определяют по графикам, приведенным на рисунках 4.13 – 4.15, в зависимости от отношений:

$$\beta := \frac{s_1}{s_0} = 0.6$$

$$x := \frac{h_B}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 0.283$$

(88)

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами:

$$\beta_F := 0.88$$

$$\beta_V := 0.38$$

$$f := 1$$

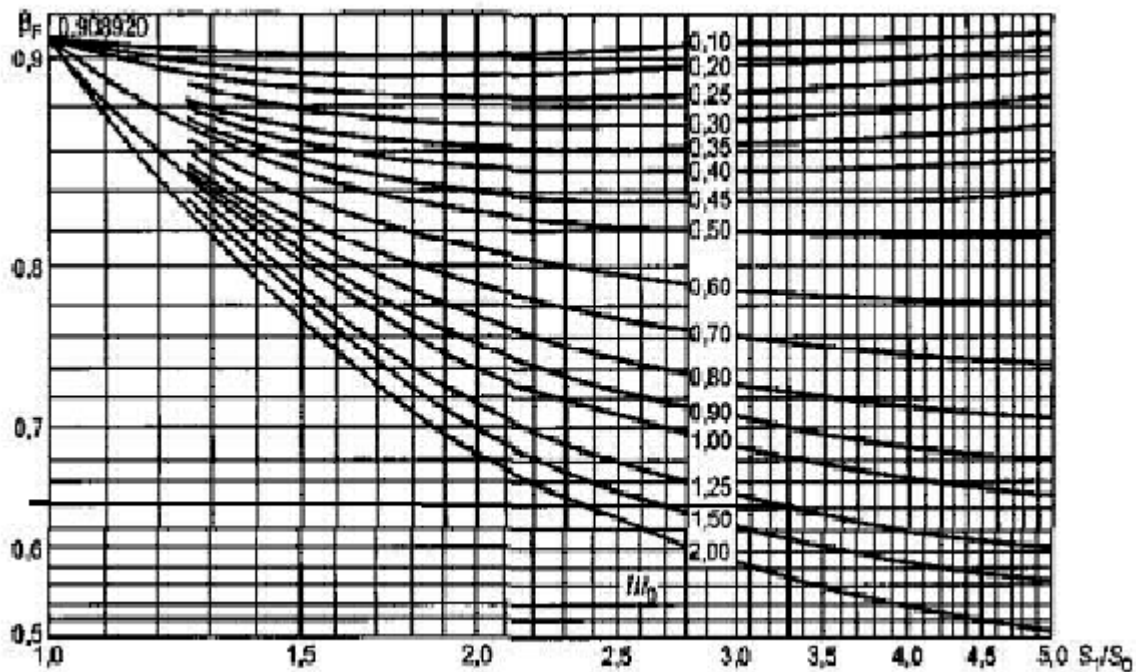


Рисунок 4.13 - Коэффициент  $\beta_F$

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

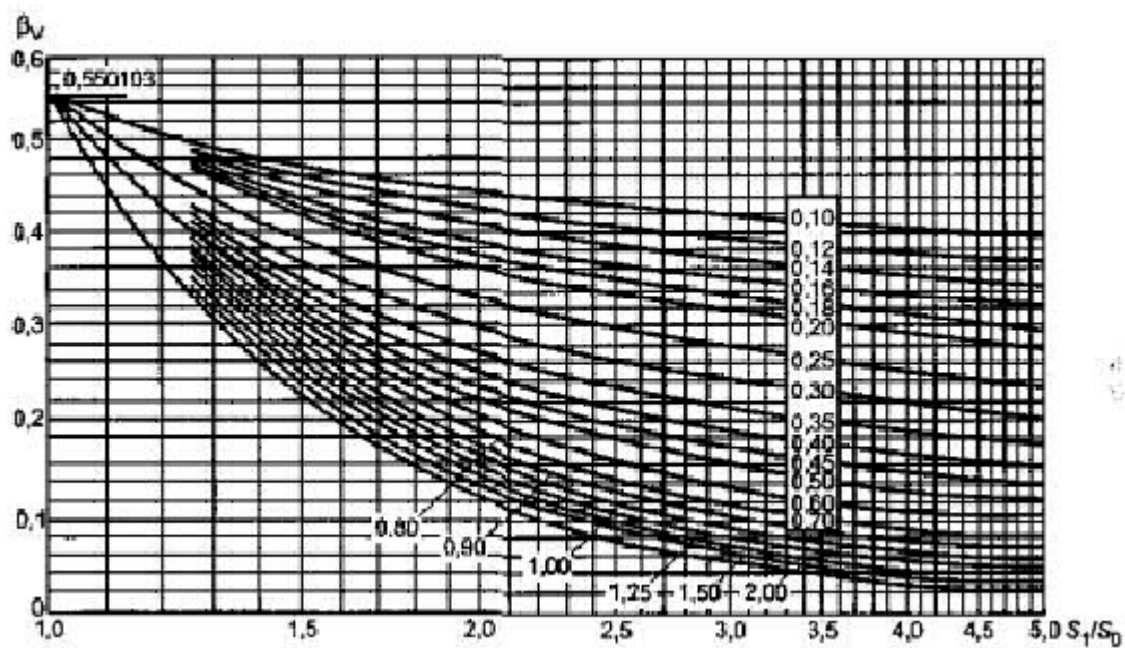


Рисунок 4.14 - Коэффициент  $\beta_v$

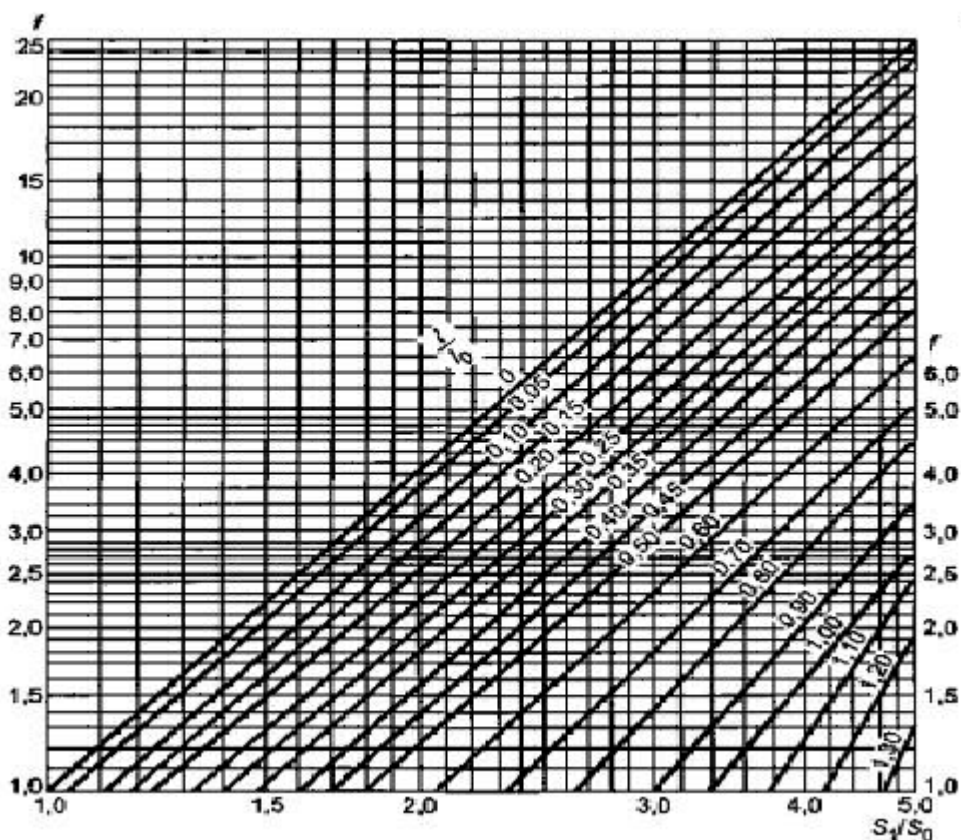


Рисунок 4.15 - Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца  $f$   
- коэффициент  $l$

Угловая податливость фланцев:

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

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (s_1)^2} = 0.992 \quad (89)$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{\lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0 \cdot E_{20}} = 2.348 \times 10^{-10} \quad (90)$$

Плечи действий усилия в болтах:

-Для приваренных встык фланцев: смотри [11]

$$b := 0.5 \cdot (D_H - D_{\text{сп}}) = 303.5 \text{ мм} \quad (91)$$

Относительная длина втулки фланца:

$$\xi := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 0.834 \quad (92)$$

$$s_3 := \xi \cdot s_0 = 8.343$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - s_3) = -237.672 \text{ мм} \quad (93)$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций

Коэффициент жесткости фланцевого соединения нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha := 1 - \frac{y_\Pi - 2 \cdot y_\Phi \cdot e \cdot b}{y_\Pi + y_\Phi + 2 \cdot e \cdot y_\Phi \cdot b^2} = 1.004 \quad (94)$$

Нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{\text{б1}} := \alpha \cdot Q_d + R_\Pi = 618.117 \text{ Н} \quad (95)$$

При рабочих условиях:

$$P_{\text{б2}} := P_{\text{б1}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d) = 617.483 \text{ Н} \quad (96)$$

Расчётная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений:

- при затяжке фланцевого соединения

$$P_{\text{бм}} := \max(P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}}) = 618.117 \text{ Н} \quad (97)$$

-в рабочих условиях

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист 75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$P_{6p} := P_{6m} + (1 - \alpha) \cdot Q_d = 617.483 \text{ Н} \quad (98)$$

Расчетные напряжения в болтах при затяжке:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6m}}{A_6} = 0.137 \text{ МПа}$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p}}{A_6} = 0.137 \text{ МПа}$$

где  $\xi = 1,2$  — коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке;

$K_{y.p}$  — коэффициент условий работы:

$K_{y.p1} = 1,0$  для рабочих условий;

$K_{y.p2} = 1,35$  для условий испытания.

$$\xi := 1.2$$

$$K_{y.p1} := 1$$

$$K_{y.p2} := 1.35$$

$K_{y.z}$  — коэффициент условий затяжки:

$K_{y.z} = 1,0$  при обычной неконтролируемой затяжке;

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

Рекомендуемые значения крутящих моментов при затяжке:

$K_{y.t}$  — коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций:

Учитываем температурные деформации:

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

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам:

При гидроиспытаниях:

$$\sigma_{6m} := K_{y.p2} \cdot K_{y.z} \cdot \xi \cdot K_{y.t} \cdot \sigma_{620} = 484.38 \text{ МПа} \quad (99)$$

При рабочих условиях

$$\sigma_{6p} := K_{y.p1} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.t} \cdot \sigma_6 = 198.9 \text{ МПа} \quad (100)$$

Условие прочности болтов при затяжке:

$$\text{Услов}_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности болтов при гидраиспытаниях выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} \leq \sigma_{6m} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Услов<sub>1</sub> = "Условия прочности болтов при гидраиспытаниях выполняются"**

$$\sigma_{61} = 0.137 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{6M} = 484.38 \text{ МПа}$$

Условие прочности болтов в рабочих условиях:

$$\text{Услов}_2 := \begin{cases} \text{"Условия прочности болтов при работе выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} \leq \sigma_{6p} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов<sub>2</sub> = "Условия прочности болтов при работе выполняются"

$$\sigma_{62} = 0.137 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{6p} = 198.9 \text{ МПа}$$

Паронит мягкая прокладка, поэтому в соответствии с [10] проверяется условие прочности прокладки:

Расчетное удельное давление:

$$q := \frac{\max(P_{61}, P_{62})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0} = 0.597 \text{ МПа} \quad (101)$$

Допускаемое удельное давление определяется по приложению И согласно [9] для паронита не более 2-3 мм:

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$\text{Услов}_{\text{проч}} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } q \leq q_d \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условия выполняются"}$$

**Расчет фланца на статическую прочность:**

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$C_{\phi} := \max \left( 1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_1}{n}}{2 \cdot d + \frac{h \cdot 6}{m + 0.5}}} \right) = 1.828 \quad (102)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M_M := C_{\phi} \cdot P_{61} \cdot b = 3.429 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (103)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_p := C_{\phi} \cdot \max \left[ (P_{6p} \cdot b + Q_d \cdot e), e \cdot |Q_d| \right] = 2.76 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (104)$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца с конической втулкой:

$$D_{\text{пр}} := \begin{cases} D & \text{if } D \geq 20 \cdot s_1 \\ (D + s_0) & \text{if } \begin{cases} f > 1 \\ D \leq 20 \cdot s_1 \end{cases} \\ (D + s_1) & \text{if } \begin{cases} D \leq 20 \cdot s_1 \\ f = 1 \end{cases} \end{cases} = 506 \text{ мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 44.925 \text{ МПа} \quad (105)$$

$$\sigma_{0M} := f \cdot \sigma_{1M} = 44.925 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

Меридиональное изгибающее напряжение для плоского фланца:

$$\sigma_{1P} := \frac{M_P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 36.159 \text{ МПа} \quad (106)$$

$$\sigma_{0P} := f \cdot \sigma_{1P} = 36.159 \text{ МПа}$$

Меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца:

$$\sigma_{0\text{мм\_раб}} := \frac{Q_d}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = 0.012 \text{ МПа} \quad (107)$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца, трубе плоского фланца  $S_0$ :

$$\sigma_{0\text{мо\_раб}} := \frac{D \cdot P_{\text{рас}}}{2 \cdot (s_0 - c)} = 5.672 \text{ МПа} \quad (108)$$

Условия статической прочности фланцев:

-при затяжке:

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $s_0$  условия статической прочности определяют по формулам: проверка согласно [11]:

с учетом стесненности температурных деформаций:

$$K_T := 1.3$$

допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений:

$$\sigma_R := \sigma_6 = 153 \text{ МПа}$$

$$\sigma_R \cdot K_T = 198.9 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0M} = 44.925 \text{ МПа}$$

При затяжке:

$$\text{Услов}_3 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq \sigma_R \cdot K_T = \text{"Условия прочности выполняются"} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

-в рабочих условиях:

$$A := \max(|0.3 \cdot \sigma_{0p} - \sigma_{0mo\_раб}|, |0.3 \cdot \sigma_{0p} + \sigma_{0mo\_раб}|)$$

$$B := |0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{0mo\_раб} - \sigma_{0mm\_раб})|$$

$$B := |0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{0mo\_раб} - \sigma_{0mm\_раб})|$$

$$\max(\max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mm\_раб}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0mm\_раб}|), A, \max(B, B))$$

$$\Gamma := 0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{0mo\_раб} - \sigma_{0mm\_раб})$$

$$D := \max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mm\_раб}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0mm\_раб}|)$$

$$E := \max(|0.3 \cdot \sigma_{0p} - \sigma_{0mo\_раб}|, |0.3 \cdot \sigma_{0p} + \sigma_{0mo\_раб}|)$$

$$Ж := |0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{0mo\_раб} - \sigma_{0mm\_раб})|$$

$$\text{Услов}_{\text{стал2}} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \max(D, E, \max(Ж, \Gamma)) \leq \sigma_R \cdot K_T = \text{"Условия выполняются"} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\max(D, E, \max(Ж, \Gamma)) = 36.171 \text{ МПа}$$

$$\sigma_R \cdot K_T = 198.9 \text{ МПа}$$

### Проверка углов поворота фланцев:

Угол поворота приварного встык, плоского фланца и бурта свободного фланца в рабочих условиях: [11]

$$\theta := P_{бр} \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 1.523 \times 10^{-7} \quad (109)$$

Допускаемый угол поворота фланца определяем при помощи интерполяции:

$$\theta_d := \text{Floor} \left[ \text{interp} \left[ \left( \begin{matrix} 400 \\ 2000 \end{matrix} \right), \left( \begin{matrix} 0.006 \\ 0.013 \end{matrix} \right), D \right], 0.00005 \right] = 6.4 \times 10^{-3}$$

$$\text{Усл}_{\text{поворота}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \theta \leq \theta_d = \text{"Условие выполняется"} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\theta = 1.523 \times 10^{-7}$$

$$\theta_d = 6.4 \times 10^{-3}$$

В данном расчете был подобран тип фланца: фланцевое соединения приварные встык и тип уплотнительной поверхности: шип-паз. Был произведен расчет прочности болтов при

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	Лист 79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



затяжке и рабочих условиях, а так же расчет на статическую прочность и проверку углов поворота фланцев.

#### 4.9 Расчёт ситчатой тарелки (7)

Цель расчета проверить тарелку на прогиб и на поперечный изгиб.

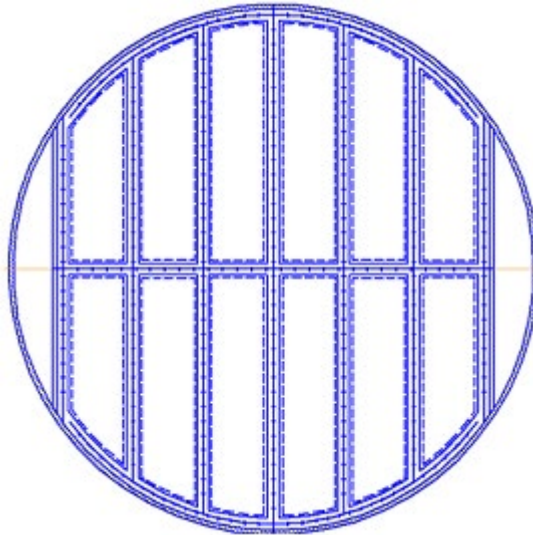


Рисунок 4.16 - Схема каркаса тарелки

Материал тарелки: Сталь 09Г2С

Диск тарелки представляет собой круглую пластину, опёртую по контуру и нагруженную равномерной нагрузкой от собственного веса и веса жидкости.

Определение толщины тарелки:

согласно [14]

$$K := 0.36$$

- Коэффициент, зависящий от способа закрепления стенки.

Расстояние между центрами отверстий на тарелке:

$$t := 20 \text{ мм}$$

- Меньшая сторона стенки

$$b := 200 \text{ мм}$$

Предел текучести для материала тарелки: в рабочих условиях  $t_{раб} := 108 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\tau_{тар} := \text{Floor} \left[ \text{interp} \left[ \left( \begin{array}{c} 100 \\ 200 \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} 224 \\ 223 \end{array} \right), t_{раб}, 0.5 \right], 0.5 \right] = 223.5 \text{ Па} \quad (110)$$

Запас прочности:

$$n_{\tau} := 1.1$$

										Лист
										80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



Поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата:

$$\eta_T := 0.9$$

Допускаемое напряжение на изгиб для материала тарелки:

$$\sigma_{из} := \frac{\tau_{тар}}{\eta_T} = 182.864 \text{ МПа} \quad (111)$$

Ускорение свободного падения:

$$g = 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Высота слоя жидкости на тарелке:

$$h := 0.06 \text{ м}$$

$$\rho_{жид} := 835.72 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Плотность жидкости на тарелке:

Масса человека, назначаем конструктивно:

$$W_0 := 100 \text{ кг}$$

Масса тарелки:

$$W_T := 89 \text{ кг}$$

Давление, действующее на тарелку аппарата:

$$p := \frac{4 \cdot g \cdot (W_T + W_0 + \rho_{жид} \cdot h)}{1.6^2 \cdot \pi \cdot 10^6} = 1.166 \times 10^{-3} \text{ МПа} \quad (112)$$

расчетная толщина тарелки:

$$s_{тар} := K \cdot b \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{из} \cdot \phi}} = 0.182 \text{ мм} \quad (113)$$

Исполнительная толщина тарелки:

$$s_{итар} := s_{тар} + c = 2.282 \text{ мм}$$

Принимаем толщину тарелки:

$$s_T := 4 \text{ мм}$$

**Расчет на прогиб тарелки:**

коэффициент для жестко закрепленной по периметру секции равен:

$$K_c := 0.0206$$

Модуль упругости материала тарелки:

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$E_{\text{тар}} := \text{Floor} \left[ \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.86 \cdot 10^5 \end{pmatrix}, t_{\text{раб}}, 0.5 \right] \right] = 1.98 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Согласно [14]

Относительный прогиб:

$$y := K_c \cdot \frac{b^4 \cdot p}{E_{\text{тар}} \cdot s_T} = 0.049 \text{ мм} \quad (114)$$

Прогиб тарелки не должен быть больше 2 мм, условие выполняется.

$$\text{Проверка}_{\text{тар}} := \begin{cases} \text{"Прогиб нормальный"} & \text{if } y < 2 \\ \text{"Увеличить толщину тарелки"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Прогиб нормальный"}$$

**Расчет на поперечный изгиб:**

Периметр слива:

$$\Pi_{\text{пер}} := 795 \text{ мм}$$

Коэффициент, зависящий от способа закрепления ребра на опорах, не жесткое закрепление:

$$K_{\text{ребра}} := 8$$

Предельно расчетный момент сопротивления укрепляющего ребра:

$$W_p := \frac{\left(\frac{b}{3}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Pi_{\text{пер}}}{3}\right) \cdot p}{2 \cdot K_{\text{ребра}} \cdot \sigma_{\text{из}}} = 0.469 \text{ мм}^3 \quad (115)$$

Выбираем уголок согласно [11] "Уголок 35x35 ГОСТ 8509-93" с  $W_p=0.469 \text{ см}^3$

Из полученных расчетов стало ясно, что прогиб тарелки поперечный изгиб выполняется

#### 4.10 Расчет ветровой нагрузки

Целью расчета ветровой нагрузки на колонну является выявление наиболее слабых мест конструкции и нахождение способов усиления сопротивления ветровой нагрузке для предотвращения обрушения или повреждения элементов колонны под воздействием сильной ветровой нагрузки.

Диаметр колонны:

$$D := 1.6 \text{ м}$$

Высота колонны:

$$H_{\text{ар}} := 8.1 \text{ м}$$

						Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\pi := 3.14$$

Плотность сталь 09Г2С[7]:

$$\rho_{\text{met}} := 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Толщина стенки:

$$s := 0.006 \text{ м}$$

Ускорение свободного падения:

$$g := 9.8 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)^2$$

Плотность воды:

$$\rho_{\text{vod}} := 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Масса корпуса:

$$M_{\text{к}} := D \cdot H_{\text{ар}} \cdot \rho_{\text{met}} \cdot s \cdot \pi = 1.917 \times 10^3 \text{ кг} \quad (116)$$

Масса днища и крышки:

$$M_{\text{д}} := D^2 \cdot 2 \cdot s \cdot \rho_{\text{met}} = 241.152 \text{ кг} \quad (117)$$

Масса тарелок:

$$m_{\text{т}} := 89 \text{ кг}$$

число тарелок:

$$n_{\text{ч}} := 10$$

масса одной тарелки:

$$M_{\text{т}} := m_{\text{т}} \cdot n_{\text{ч}} = 890 \text{ кг} \quad (118)$$

Масса воды при испытании:

$$M_{\text{в}} := \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho_{\text{vod}} = 30.144 \text{ кг} \quad (119)$$

Масса колонны:

$$M_{\text{ап}} := M_{\text{т}} + M_{\text{в}} + M_{\text{к}} = 2.837 \times 10^3 \text{ кг} \quad (120)$$

**Расчет аппарата на ветровую нагрузку**

Расчет согласно [13]

**Расчетная схема аппарата колонного типа**

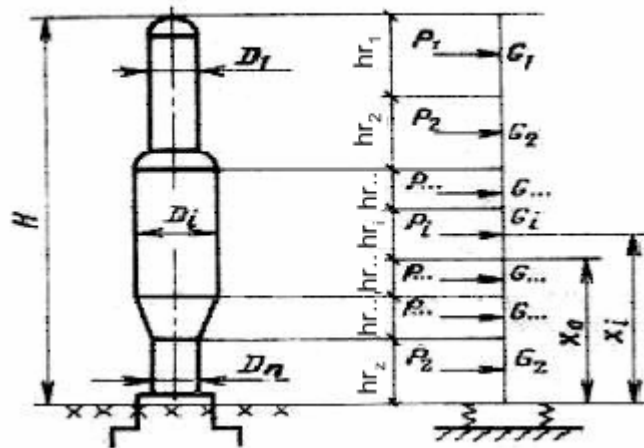


Рисунок 4.17 - Расчетная схема аппарата колонного типа для определения ветровой нагрузки

Исходные данные:

Все расчетные сечения и высоты выбираются в соответствие с расчетной схемой

Количество участков

$$n_{rz} := 3$$

Высота колонны

$$H_k := 8.1 \text{ м}$$

Высота опоры

$$H_{оп} := 1.4 \text{ м}$$

$$H_1 := 0.88 \text{ м}$$

$$H_2 := 5.37 \text{ м}$$

$$H_3 := 1.85 \text{ м}$$

$$H := H_1 + H_2 + H_3 = 8.1 \text{ м}$$

Высота опоры (конструктивно):

$$h := 1.4 \text{ м}$$

Высота аппарата вместе с опорой:

$$H_{ап} := h + H = 9.5 \text{ м}$$

**Необходимость проведения расчета аппарата на ветровую нагрузку:**

$$K := \begin{cases} 5 & \text{if } H_{\text{ап}} < 10 \\ 1.5 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_{\text{ветр}} := \begin{cases} \text{"расчет на ветровые нагрузки необходим"} & \text{if } \frac{H_{\text{ап}}}{D} > K \\ \text{"расчет на ветровые нагрузки не обязателен"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Усл}_{\text{ветр}} = \text{"расчет на ветровые нагрузки необходим"}$

Аппарат размещается на улице:

Тип расчетной схемы: ГОСТ 380-88

Расчет согласно [13]

$$\text{схема} := \begin{cases} \text{"расчетная схема аппарата в виде консольного стержня"} & \text{if } \frac{H_{\text{ап}}}{D} \geq 15 \\ \text{"в виде упруго защемленного стержня"} & \text{if } \frac{H_{\text{ап}}}{D} < 15 \end{cases}$$

$\text{схема} = \text{"в виде упруго защемленного стержня"}$

Высота участков колонны:

$$h_1 := 0.88 \text{ м}$$

$$h_2 := 5.37 \text{ м}$$

$$h_3 := 1.85 \text{ м}$$

Высота центров масс разбитых участков от фундамента:

$$x_3 := \frac{h_3}{2} = 0.925 \text{ м} \quad (121)$$

$$x_2 := h_3 + \frac{h_2}{2} = 4.535 \text{ м}$$

$$x_1 := h_3 + h_2 + \frac{h_1}{2} = 7.66 \text{ м}$$

Вес аппарата, заполненного жидкостью:

$$G_1 := 2.837 \times 10^3 \text{ Н}$$

Вес аппарата при рабочих условиях принимаем равным 1/3 от массы аппарата при условиях испытания:

$$G_2 := \frac{1}{3} \cdot G_1 = 945.667 \text{ Н} \quad (122)$$

Вес аппарата при монтаже:

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист 85
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$G_3 := G_1 - M_B = 2.807 \times 10^3 \text{ Н} \quad (123)$$

Определение периода собственных колебаний:

Модуль упругости материала в рабочих условиях:

$$E := \text{Floor} \left[ \text{interp} \left[ \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1.94 \cdot 10^5 \\ 1.86 \cdot 10^5 \end{pmatrix}, t_{\text{раб}}, 0.5 \right] \right] = 1.934 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости при гидроиспытаниях:

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

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := 0.0049 \text{ м}$$

Момент инерции верхнего основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси:

$$I_1 := \left( \frac{\pi \cdot D_1^3}{8} \right) \cdot (s_1 - c) = 9.638 \times 10^9 \text{ м}^4 \quad (124)$$

Момент инерции нижнего основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси:

$$I_2 := \left( \frac{\pi \cdot D_2^3}{8} \right) \cdot (s_1 - c) = 9.638 \times 10^9 \text{ м}^4$$

Минимальный период собственных колебаний (пустой аппарат)

$$T_{\min} := 1.79 \cdot \text{Н} \cdot \sqrt{\left( \frac{M_{\text{ап}}}{g} \right) \cdot \frac{\text{Н}}{E \cdot I_2}} = 1.626 \times 10^{-5} \text{ с} \quad (125)$$

Максимальный период собственных колебаний:

$$T_{\max} := 1.79 \cdot \text{Н} \cdot \sqrt{\left( \frac{M_{\text{ап}}}{g} \right) \cdot \frac{\text{Н}}{E \cdot I_2}} = 1.626 \times 10^{-5} \text{ с}$$

скоростной напор ветра, согласно:

$$q_0 := 350 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

коэффициент  $\Theta_i$  для каждого участка:

$$\Theta_1 := \left( \frac{x_1}{10} \right)^{0.32} = 0.918 \quad (126)$$

$$\Theta_2 := \left( \frac{x_2}{10} \right)^{0.32} = 0.776$$

$$\Theta_3 := \left( \frac{x_3}{10} \right)^{0.32} = 0.467$$

Нормативное значение статической составляющей ветровой нагрузки на середине i-го участка аппарата:

$$K := 0.7$$

$$q_{1ст} := q_0 \cdot \Theta_1 \cdot K = 224.967 \frac{H}{m^2} \quad (127)$$

$$q_{2ст} := q_0 \cdot \Theta_2 \cdot K = 190.226 \frac{H}{m^2}$$

$$q_{3ст} := q_0 \cdot \Theta_3 \cdot K = 114.375 \frac{H}{m^2}$$

Толщина стенки аппарата, в местах соприкосновения с опорой:

$$s_{ст} := s_1 = 6 \text{ м}$$

Наружный диаметр участка:

$$D_{нар1} := D_1 + 2 \cdot s_{ст} = 1.612 \times 10^3 \text{ м} \quad (128)$$

$$D_{нар2} := D_2 + 2 \cdot s_{ст} = 1.612 \times 10^3 \text{ м}$$

Статическая составляющая ветровой нагрузки на каждом участке:

$$P_{1ст} := q_{1ст} \cdot D_{нар1} \cdot h_1 = 3.191 \times 10^5 \frac{H}{m^2} \quad (129)$$

$$P_{2ст} := q_{2ст} \cdot D_{нар2} \cdot h_2 = 1.647 \times 10^6 \frac{H}{m^2}$$

$$P_{3ст} := q_{3ст} \cdot D_{нар2} \cdot h_3 = 3.411 \times 10^5 \frac{H}{m^2}$$

Коэффициент динамичности:

При минимальном периоде собственного колебания:

$$\epsilon_1 := T_{\min} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 3.851 \times 10^{-7} \quad (130)$$

$$\xi_1 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \epsilon_1} = 1.102$$

При максимальном периоде собственного колебания:

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\epsilon_2 := T_{\max} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 3.851 \times 10^{-7} \quad (131)$$

$$\xi_2 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \epsilon_2} = 1.102$$

Коэффициент пульсаций скоростного напора:

$$m_1 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_1}{10}\right)^{-0.15} = 0.791 \quad (132)$$

$$m_2 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_2}{10}\right)^{-0.15} = 0.856$$

$$m_3 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_3}{10}\right)^{-0.15} = 1.086$$

Коэффициент увеличения скорости напора:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$\beta_1 := 1 + \xi_2 \cdot m_1 = 1.872 \quad (133)$$

$$\beta_2 := 1 + \xi_2 \cdot m_2 = 1.943$$

$$\beta_3 := 1 + \xi_2 \cdot m_3 = 2.197$$

Сила от ветровой нагрузки, действующая на каждый из участков аппарата:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$P_1 := 0.6 \cdot \beta_1 \cdot D_1 \cdot q_{1\text{ст}} \cdot x_1 = 3.097 \times 10^6 \text{ Н} \quad (134)$$

$$P_2 := 0.6 \cdot \beta_2 \cdot D_2 \cdot q_{2\text{ст}} \cdot x_2 = 1.609 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$P_3 := 0.6 \cdot \beta_3 \cdot D_3 \cdot q_{3\text{ст}} \cdot x_3 = 2.232 \times 10^5 \text{ Н}$$

Изгибающий момент от ветровой нагрузки на аппарат относительно основания при максимальной силе тяжести аппарата:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$M_{B1} := P_1 \cdot x_1 = 2.372 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (135)$$

$$M_{B2} := P_2 \cdot x_2 = 7.299 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B3} := P_3 \cdot x_3 = 2.064 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B\_max} := M_{B1} + M_{B2} + M_{B3} = 3.123 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$



## Расчет на прочность

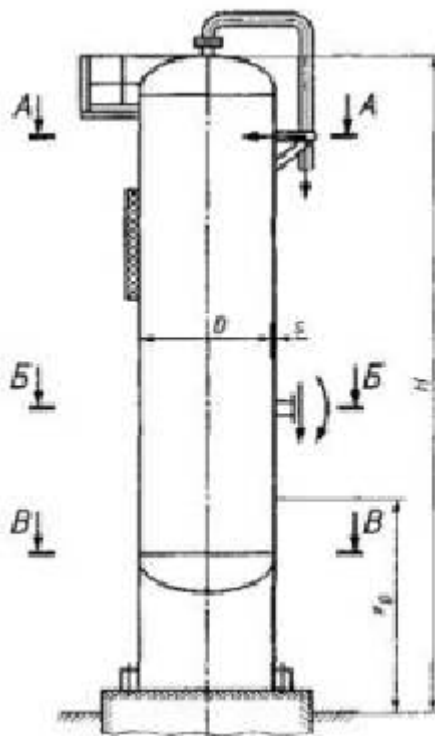


Рисунок 4.18 - Расчетные сечения корпуса аппарата

В качестве материала опорной обечайки принимаем сталь 09Г2с

Допускаемое напряжение для материала опорной обечайки при расчетной температуре по [8]

$$\sigma_{д0} := 176$$

По таблице 9 [8]

$$R_e := 275$$

предел текучести для материала опорной обечайки при расчетной температуре

$$R_m := 425$$

временное сопротивление для материала опорной обечайки при расчетной температуре

Модуль упругости для материала опорной обечайки при расчетной температуре по [8]

$$E := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент запаса устойчивости при условиях испытания и монтажа

$$n_y := 1.8$$

Давление испытаний по [15]:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

89

$$P_{\text{н}} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{\text{н}20}}{\sigma_{\text{д}0}} = 0.194 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент прочности сварного шва принимаем по табл.20 [15]

$$\varphi := 1$$

### Расчет нагрузок

Допускаемое осевое растягивающее усилие по формуле 136 [15]

$$F_{\text{д}} := \pi \cdot (D_1 + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{д}0} = 5.321 \times 10^6 \text{ Н} \quad (136)$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности по формуле 137 [15]

$$M_{\text{дп}} := \frac{\pi}{4} \cdot D_1 \cdot (D_1 + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \sigma_{\text{д}0} = 2.128 \times 10^9 \quad \text{Н*мм} \quad (137)$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости по формуле 138 [9]

$$M_{\text{де}} := \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot D_1^3 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_1 - c)}{D_1} \right]^{2.5} = 3.464 \times 10^9 \quad \text{Н*мм} \quad (138)$$

Допускаемый изгибающий момент для условий испытания по формуле 139 [15]

$$M_{\text{д}} := \frac{M_{\text{дп}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{M_{\text{дп}}}{M_{\text{де}}} \right)^2}} = 1.813 \times 10^9 \quad \text{Н*мм} \quad (139)$$

### Проверка прочности

при рабочих условиях:

По табл. 1 [14]

$$F_1 := G_2$$

Продольные напряжения следует рассчитывать:

-на наветренной стороне по формуле 140 [14]

$$\sigma_{\text{x1}} := \frac{P \cdot (D_1 + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} - \frac{F_1}{\pi \cdot D_1 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_{\text{в\_max}}}{\pi \cdot D_1^2 \cdot (s_1 - c)} = 9.258 \quad (140)$$

-на подветренной стороне по формуле 141 [14]

$$\sigma_{\text{x2}} := \frac{P \cdot (D_1 + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} - \frac{F_1}{\pi \cdot D_1 \cdot (s_1 - c)} - \frac{4 \cdot M_{\text{в\_max}}}{\pi \cdot D_1^2 \cdot (s_1 - c)} = 4.074 \quad (141)$$

Кольцевые напряжения следует рассчитывать по формуле 142 [14]

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sigma_y := \frac{P \cdot (D_1 + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} = 6.697 \quad (142)$$

Эквивалентные напряжения следует рассчитывать

-на наветренной стороне по формуле 143 [14]

$$\sigma_{E1} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 8.28 \quad (143)$$

-на подветренной стороне по формуле 144 [14]

$$\sigma_{E2} := \sqrt{\sigma_{x2}^2 - \sigma_{x2} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 5.845 \quad (144)$$

Условия прочности следует проверять:

- на наветренной стороне [14]

$$\max(|\sigma_{x1}|, \sigma_{E1}) \leq \sigma_{д0} \cdot \varphi$$

$$9.258 \leq 176 \text{ МПа}$$

условие прочности выполняется

-на подветренной стороне [14]

$$\max(|\sigma_{x2}|, \sigma_{E2}) \leq \sigma_{д0} \cdot \varphi$$

$$5.845 \leq 176 \text{ МПа}$$

условие прочности выполняется

при условиях монтажа:

По таблице 1 [14]

$$F_2 := G_3$$

$$P := 0$$

Продольные напряжения следует рассчитывать:

-на наветренной стороне по формуле 140 [14]

$$\sigma_{x1} := \frac{P \cdot (D_1 + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} - \frac{F_2}{\pi \cdot D_1 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_{E\_max}}{\pi \cdot D_1^2 \cdot (s_1 - c)} = 2.499$$

-на подветренной стороне по формуле 141 [14]

$$\sigma_{x2} := \frac{P \cdot (D_1 + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} - \frac{F_2}{\pi \cdot D_1 \cdot (s_1 - c)} - \frac{4 \cdot M_{E\_max}}{\pi \cdot D_1^2 \cdot (s_1 - c)} = -2.685$$

Кольцевые напряжения следует рассчитывать по формуле 142 [14]

$$\sigma_y := \frac{P \cdot (D_1 + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} = 0$$

Эквивалентные напряжения следует рассчитывать

					ФЮРА.066212.001 ПЗ	Лист 91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

-на наветренной стороне по формуле 143 [14]

$$\sigma_{E1} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 2.499$$

-на подветренной стороне по формуле 144 [14]

$$\sigma_{E2} := \sqrt{\sigma_{x2}^2 - \sigma_{x2} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 2.685$$

Условия прочности следует проверять:

- на наветренной стороне [14]

$$\max(|\sigma_{x1}|, \sigma_{E1}) \leq \sigma_{д0} \cdot \varphi$$

$$2.499 \leq 176 \text{ МПа}$$

условие прочности выполняется

-на подветренной стороне [14]

$$\max(|\sigma_{x2}|, \sigma_{E2}) \leq \sigma_{д0} \cdot \varphi$$

$$2.685 \leq 176 \text{ МПа}$$

условие прочности выполняется

### Проверка устойчивости

Проверку устойчивости для рабочих условий и условий испытания для аппаратов под внутренним избыточным давлением следует проводить по формуле 9 [14]

при рабочих условиях:

По таблице [14]

$$F_1 := G_2$$

$$\frac{F_1}{F_d} + \frac{M_{B\_max}}{M_d} \leq 1$$

$$0.017 \leq 1$$

условие устойчивости выполняется

при условиях испытания:

По таблице 1 [14]

$$F_2 := G_1$$

$$M := 0.6 \cdot M_{B\_max} = 1.874 \times 10^7 \text{ Н мм}$$

$$\frac{F_2}{F_d} + \frac{M}{M_d} \leq 1$$

$$0.011 \leq 1$$

условие устойчивости выполняется

Из полученных расчетов выясняем, что расчет на ветровую нагрузку необходим. Проверка на прочность и устойчивость колонны выполняется.

#### 4.11 Расчетные размеры опорного кольца (8)

Целью данного расчета определить устойчивость аппарата против опрокидывания от ветровой нагрузки, а так же определить толщину опорной обечайки.

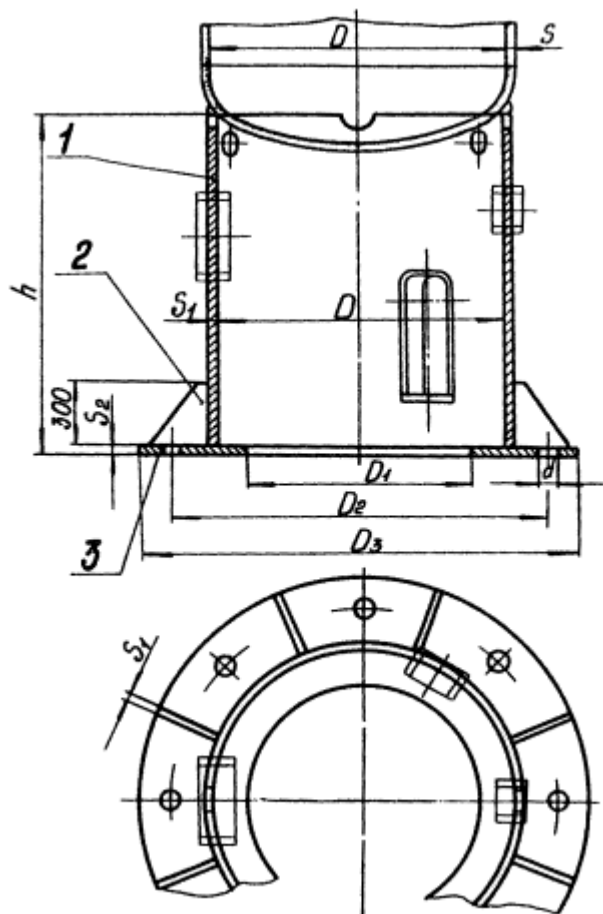


Рисунок 4.19 Опора цилиндрическая с местными косынками

$k_0$  - коэффициент, определяемый графически и зависящий от диаметра аппарата

$$k_0 := 0.15$$

Внутренний расчетный диаметр кольца:

$$D_{1в} := 1.5 \cdot 10^3 \text{ мм}$$

Наружный диаметр кольца:

$$D_{3в} := 1.88 \cdot 10^3 \text{ мм}$$

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

Опорная площадь кольца:

$$F_K := \left( \frac{\pi \cdot D_{3B}^2}{4} \right) - \left( \frac{\pi \cdot D_{1B}^2}{4} \right) = 1.008 \times 10^6 \text{ мм}^2 \quad (145)$$

Ширина фундаментного кольца:

$$L_\phi := D_{3B} - D_{1B} = 380 \text{ мм} \quad (146)$$

Момент инерций фундаментного кольца:

$$I_k := \frac{\pi \cdot D_2^3}{8} \cdot L_\phi = 6.109 \times 10^{11} \text{ мм}^4 \quad (147)$$

Момент инерций подошвы фундамента относительно центральной оси:

$$I_\phi := 1.3 \cdot I_k = 7.942 \times 10^{11} \text{ мм}^4 \quad (148)$$

Момент сопротивления опорной площадки кольца:

$$W_k := \frac{\pi}{32} \cdot \left( \frac{D_{3B}^4 - D_{1B}^4}{D_{3B}} \right) = 3.878 \times 10^8 \text{ мм}^3 \quad (149)$$

Максимальное напряжение сжатие на опорной поверхности опорного кольца:

$$\sigma_{\max} := \frac{M_{\text{ап}}}{F_K} = 2.814 \times 10^{-3} \text{ Па} \quad (150)$$

Допускаемая удельная нагрузка на опорной поверхности:

$$q_d := 23 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Проверка выполнения условий:

$$\text{Усл}_{\text{расчета}} := \begin{cases} \text{"Не требуется вносить изменения"} & \text{if } \sigma_{\max} \leq q_d \\ \text{"Внести изменения в размеры внутреннего кольца"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_{\text{расчета}} = \text{"Не требуется вносить изменения"}$$

Временное сопротивление материала 09Г2С

$$\sigma_B := 500 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Предел выносливости:

$$\sigma_{-1} := 0.44 \cdot \sigma_B = 2.2 \times 10^8 \text{ Па} \quad (151)$$

Номинальная расчетная толщина опорного кольца:

$$l_w := \frac{D_{3B} - D_2}{2} = 140 \text{ мм} \quad (152)$$

$$s_{\text{к}} := 1.73 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{-1}}} = 8.662 \times 10^{-4} \text{ м} \quad (153)$$

Принимаем толщину опорного кольца (конструктивно):

$$s_{\text{к}} := 0.02 \text{ м}$$

Расчет на устойчивость аппарата против опрокидывания от ветровой нагрузки:

$$\sigma := \max\left(\frac{M_{\text{ап}}}{F_{\text{к}}} + \frac{M_{\text{в\_max}}}{W_{\text{к}}}, \frac{M_{\text{ап}}}{F_{\text{к}}} - \frac{M_{\text{в\_max}}}{W_{\text{к}}}\right) = 0.083 \text{ Па} \quad (154)$$

Общая условная расчетная нагрузка на фундаментные болты:

$$P_{\sigma} := 0.785 \cdot (D_{3\text{в}}^2 - D_{1\text{в}}^2) \cdot \sigma = 8.403 \times 10^4 \text{ Па} \quad (155)$$

Количество фундаментных болтов (Задаем конструктивно):

$$n_{\text{б}} := 6$$

Нагрузка на один болт:

$$P_{\sigma 1} := \frac{P_{\sigma}}{n_{\text{б}}} = 1.401 \times 10^4 \text{ Па} \quad (156)$$

Расчетный внутренний диаметр резьбы болта:

Материал для болта Сталь 09Г2С при температуре 20 градусов.

$$\sigma_{\text{б}} := 196 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Расчетный диаметр болтов:

$$d_{\text{рас\_болт}} := \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\sigma 1}}{\pi \cdot \sigma_{\text{б}}}} + c = 0.014 \text{ м} \quad (157)$$

Принимаем стандартный диаметр болта:

M36 x 6

$$d_{\text{б}} := 0.036 \text{ м}$$

Расчетный диаметр болтовой окружности:

$$D_{2\text{в}} := (D_2 + 2 \cdot s_{\text{ст}} + 4 \cdot d_{\text{б}}) = 1.612 \times 10^3 \text{ мм} \quad (158)$$

Толщина опорной обечайки по расчетам равна 2 мм, так как возникает необходимость в дополнительных отверстиях опорной обечайке, примем минимальную толщину обечайки 8 мм.

## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В дипломном проекте представлен расчет тарельчатой ректификационной колонны непрерывного действия для разделения бинарной смеси метанол-вода.

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

Продуктом данной бакалаврской работы является тарельчатая ректификационная колонна. Тарельчатые ректификационные колонны являются одними из самых распространенных в России, так как, около 40% аппаратов, изготавливаемых для адсорбции и ректификации, представляют тарельчатые ректификационные колонны.

Целевым рынком являются: АО «СДС Азот», ПАО «Нижекамскнефтехим», ООО «Самараоргсинтез», ПАО «Куйбышевазот», ПАО «Омский каучук», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» ООО «ПНХЗ»

Областью применения аппаратов данного типа является нефтегазовая, химическая, пищевая промышленности и т.д.

### 5.1 SWOT–анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT–анализ применяют 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 5.1).

					<b>ФЮРА.066212.001 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Студент</i>	<i>Санников Н.В.</i>				<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Тихонов Н.В.</i>						96	22
<i>Конс.</i>	<i>Криницына Э.В.</i>					<i>ТПУ ИШНПТ</i>		
<i>Н. Контр.</i>						<i>НОЦ Н.М. Кижнера</i>		
<i>Руков. ООП</i>	<i>Беляев В.М.</i>					<i>Группа 4K51</i>		



Таблица 5.1 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>С1. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области</p> <p>С2. Актуальность проекта</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С5. Возможность использования в качестве сырья побочных продуктов добычи.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Большое количество конкурентов</p> <p>Сл2. Необходимость больших капитальных затрат</p> <p>Сл3. Необходимость развития широкой логистической сети по подаче сырья и транспортировки продукта</p>
<p><b>Возможности:</b></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><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Появление новых конкурентов</p> <p>У2. Риск невозможности импорта товаров из-за введения санкций</p>		

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблица 5.2 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	+	+	+
	B2	+	+	+	+	-
	B3	+	-	-	+	+
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	+	+	-
	У2	-	-	-	-	-
	У3	+	-	0	-	0
	У4	-	+	0	-	-
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3		
	B1	-	0	-		
	B2	-	+	-		
	B3	-	+	-		
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3		
	У1	-	+	-		
	У2	-	0	-		
	У3	-	+	+		
	У4	-	+	-		

Таблица 5.3 – Итоговый SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>С1. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области</p> <p>С2. Актуальность проекта</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С5. Возможность использования в качестве сырья побочных продуктов добычи.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Большое количество конкурентов</p> <p>Сл2. Необходимость больших капитальных затрат</p> <p>Сл3. Необходимость развития широкой логистической сети по подаче сырья и транспортировки продукта</p>
<p><b>Возможности:</b></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>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>

Продолжение таблицы 5.3

<p><b>Угрозы:</b></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 товаров 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>
---	--	---

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.

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работы в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований;

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят: инженер, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ представлен в таблице

Таблица 5.4 – 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 исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	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
<b>Проведение ВКР</b>			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка чертежа аппарата в среде КОМПАС 3D	Инженер
	11	Проверка чертежей	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по	12	Составление пояснительной записки, оформление чертежей аппарата	Инженер

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

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

101

### 5.3 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ож_i} = \frac{3t_{min_i} + 2t_{max_i}}{5}, \quad (159)$$

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

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

$t_{max_i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

На выполнение данного проекта выделено 4 месяца (февраль-май), что в календарных днях по шестидневной рабочей неделе с учетом всех праздников составляет 96 дней. Кратчайший срок выполнения проекта – 62 дня.

Таблица 5.5 – Минимальная и максимальная трудоемкости выполнения работы

$t_{min}$	1	4	4	1	4	12	1	1	4	13	1	16
$t_{max}$	1	9	7	1	7	23	1	1	7	18	1	20

Определим ожидаемую трудоемкость для запланированных работ с округлением до целого числа.

Таблица 5.6 – Ожидаемая трудоемкость

$t_{ож}$	1	6	5	1	5	16	1	1	5	9	1	18
----------	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---	----

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

$$T_p = \frac{t_{ож_i}}{ч_i}, \quad (160)$$

где  $T_p$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

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

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

## 5.4 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. 44 Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{k_i} = T_{p_i} * k_{\text{кал}}, \quad (161)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (162)$$

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.

Следовательно:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{k_i}$  необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу.

Таблица 5.7 – Временные показатели проведения работы

Номер работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{p_i}$	Длительность работ в календарных днях $T_{k_i}$
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни	$t_{\text{max}}$ , чел-дни	$t_{\text{ож}}$ , чел-дни			
1	1	1	1	Рук-ль	1	1
2	4	9	6	Инженер	6	8
3	4	8	6	Инженер	6	8

Продолжение таблицы 5.7

Номер работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож_i}$ , чел-дни			
4	1	1	1	Рук-ль, Инженер	1	1
5	4	8	6	Инженер	6	8
6	12	21	16	Инженер	16	23
7	1	1	1	Рук-ль	1	1
8	1	1	1	Рук-ль, Инженер	1	1
9	4	7	5	Инженер	5	7
10	13	18	9	Инженер	9	13
11	1	1	1	Рук-ль	1	1
12	16	20	18	Инженер	18	26
Итого	62	96	71		71	98

Следующим шагом построим календарный план-график, на котором будет показана продолжительность работы исполнителей.

Таблица 5.8 – План-график проведения работы

№ работы	Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность проведения 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	Инженер	8													
3	Проведение патентных исследований	Инженер	8													



Продолжение таблицы 5.8

№ работы	Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность проведения работ											
				февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4	Выбор направления исследований	Рук-ль, Инженер	1												
5	Планирование работ	Инженер	8												
6	Проведение расчётов	Инженер	23												
7	Утверждение результатов	Рук-ль	1												
8	Оценка полученных результатов	Рук-ль, Инженер	1												
9	Целесообразность ВКР	Инженер	7												
10	Разработка чертежей	Инженер	13												
11	Проверка чертежей	Рук-ль	1												
12	Составление ПЗ и оформление чертежей	Инженер	26												

 – руководитель

 – инженер

### 5.5 Расчет затрат

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных)

работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### 5.5.1 Материальные затраты

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх_i}, \quad (163)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх_i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 5.9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>М</sub> ), руб.
Метанол сырец	т	1	12000	24360
Материал	т	12	25000	609000
Датчики	шт	15	6000	182700

Продолжение таблицы 5.9

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>М</sub> ), руб.
Пар	гКал	0,03	8,396	14240
Итого, руб.	830300			

### 5.5.2 Расчет амортизационных отчислений

Для расчета суммы амортизационных отчислений необходимо учесть время, которое используется оборудование его полную стоимость и норму амортизационных отчислений.

$$A_0 = \frac{C_{\text{П}} \cdot H_0}{100 \cdot T_{\text{раб.дн.год}}} \cdot T_{\text{раб.}} \quad (164)$$

где  $A_0$  – амортизационные отчисления, руб;

$C_{\text{П}}$  – стоимость оборудования, руб;

$H_0$  – норма амортизационных отчислений, для каждого оборудования, %

$T_{\text{раб.дн.год}}$  – рабочие дни в 2019 году, 247 дней;

$T_{\text{раб}}$  – дни эксплуатации в проекте;

Норму амортизационных отчислений вычисляем по формуле:

$$H_0 = \frac{1}{n} \cdot 100, \quad (165)$$

где  $n$  – срок эксплуатации оборудования на производстве, лет.

Дни в эксплуатации будут приняты в количестве 5 дней в соответствии с экспериментальными данными.

Таблица 5.10 – Амортизационные отчисления

Наименование основных средств	Количество основных средств, шт.	Срок эксплуатации $n$ , лет	Норма амортизации, %	$C_{\text{П}}$ , тыс. руб	$A_0$ , руб.
Колонна	1	15	6,67	15000	24900
Конденсатор	1	15	6,67	8000	10800
Подогреватель	1	15	6,67	8000	10800
Емкость	4	20	5	4660	18870
Кипятильник	1	15	6,67	8120	10960

Продолжение таблицы 5.10

Наименование основных средств	Количество основных средств, шт.	Срок эксплуатации, п, лет	Норма амортизации, %	С <sub>п</sub> , тыс. руб	А <sub>0</sub> , руб.
Теплообменник	2	15	6,67	8000	21590
Итого					97920

### 5.5.3 Затраты на электроэнергию, потребляемую насосами

Затраты на электроэнергию рассчитывают по формуле:

$$Z_{\text{э}} = T_{\text{э}} \cdot M \cdot T_{\text{раб}}, \quad (166)$$

где  $Z_{\text{э}}$  – затраты на электроэнергию, руб;

$T_{\text{э}}$  – тариф электроэнергии 1кВт/ч, руб/(кВт/ч);

$M$  – мощность, потребляемая двигателями насосов, кВт;

$T_{\text{раб}}$  – число рабочих часов оборудования для исследования, ч

Отсюда следует:

$$Z_{\text{э}} = 9,8 \cdot 176 \cdot 5 \cdot 24 = 206976 \text{ руб.}$$

### 5.5.4 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. 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:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} \quad (167)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (168)$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 5.11 – Показатели рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
календарное количество дней	365	365
Количество не рабочих дней:		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Издержки рабочего времени:		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни		
Действительный фонд	251	275

Месячный должностной оклад исполняющего работу:

$$Z_M = Z_{ок} \cdot k_p, \quad (169)$$

где  $Z_{ок}$  – 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 25600 руб.

Таблица 5.12 – Основная заработная плата

Исполнители	$Z_{ок}$ , руб.	$k_p$	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	33664	1,3	43763,2	1813,3	5	9066,5
Инженер	25600		33280	1355,4	65	88101,3
Итого						97167,7

Основная заработная плата рабочих:

- при 5 рабочих днях руководителя: 9066,5 руб.;

- при 65 рабочих днях инженера: 88101,3 руб.

### 5.5.5 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.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (170)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата для руководителя составляет 1360 руб., а для инженера 13215,2 руб.

Итоговая заработная плата:

$$Z_{\text{ЗП}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (171)$$

Для руководителя 10426,5 руб., а для инженера 101316,5 руб.

### 5.5.6 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (172)$$

$k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 5.13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	9066,5	1360
Инженер	88101,3	13215,2
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1 %	
Итого, руб.	Руководитель: 2825,6 Инженер: 27456,8	

Продолжение таблицы 5.13

Суммарно, руб.	30282,4
----------------	---------

### 5.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице

Таблица 5.14 – Затраты научно-исследовательской работы

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	830300
2. Амортизация оборудования	97920
3. Затраты на электроэнергию	206976
4. Затраты по основной заработной плате	97167,7
5. Затраты по дополнительной заработной плате	14575,2
6. Отчисления во внебюджетные фонды	30282,4
7. Бюджет затрат НИИ	1277221,3

### 5.6 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 финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (173)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость каждого варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения проекта.

$$I_{\text{финр}}^P = \frac{1277221,3}{1277221,3} = 1,$$

$$I_{\text{финр}}^{A1} = \frac{1277221,3}{1316723} = 0,97,$$

Все результаты расчетов сводим в таблицу.

Таблица 5.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

<b>Объект исследования</b>  <b>Критерии</b>	<b>Весовой коэффициент параметра</b>	<b>P</b>	<b>A.1</b>
1. Производительность	0,25	5	5
2. Доступность запчастей	0,1	5	3
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4
4. Конкурентоспособность	0,15	4	5
5. Надежность	0,25	4	4
6. Цена	0,1	5	3
Итого	1		

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{\text{р.исп1.}} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (174)$$

Соответственно:

$$I_{\text{р.Р}} = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,45$$

$$I_{\text{р.А1}} = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 = 4,2$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_P = \frac{I_{\text{р.Р}}}{I_{\text{финр}}^P} = \frac{4,45}{1} = 4,45$$

$$I_{A1} = \frac{I_{\text{р.А1}}}{I_{\text{финр}}^{A1}} = \frac{4,2}{0,97} = 4,33,$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта:



$$\Xi_{\text{cp}} = \frac{I_{\text{P}}}{I_{\text{A1}}} \quad (175)$$

Все результаты внесены в таблицу.

Таблица 5.16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	P	A1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,45	4,2
3	Интегральный показатель эффективности	4,45	4,33
4	Сравнительная эффективность разновидностей исполнения	1	0,97

#### Расчёт производственной мощности

Расчет производственной мощности для непрерывного производства производится по формуле:

$M = P_{\text{час}} * T_{\text{эф}} * K_{\text{об}}$ , где  $P_{\text{час}}$  – часовая производительность, т/ч;

$T_{\text{эф}}$  – эффективный фонд времени работы оборудования, ч;

$K_{\text{об}}$  – количество однотипного оборудования. Определим эффективный фонд времени оборудования:

$T_{\text{эф}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{пр}}$ , где:

$T_{\text{ном.}}$  – номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{пр}}$  – время простоя в ремонтах за расчетный период,

Производство имеет непрерывный характер, поэтому

$T_{\text{ном.}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{во}}$ ;

где  $T_{\text{во}}$  – время внеплановых остановок.

$T_{\text{пр}} = 30 \text{ дн.}(720 \text{ ч.})$ ,  $T_{\text{во}} = 7,5 \text{ дн.}(180 \text{ ч.})$ ,

$T_{\text{ном.}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{во}} = 357,5 \text{ дн.}(8580 \text{ ч.})$ ;

Таким образом,  $T_{\text{эф}} = 8580 - 720 - 180 = 7680 \text{ ч.}$

Полученные данные представлены в табл.3.1.

$P_{\text{час}} = 10008 \text{ кг/ч}$ ;  $T_{\text{эф}} = 7680 \text{ ч}$ ;

$M = 10008 * 7680 = 76980 \text{ т/год.}$

Таблица 5.17 – Показатели дней

Показатели	Кол-во дней(часов)
Календарный фонд времени, Ткал	365(8760)
Режимные потери рабочего времени	
выходные	0
праздники	0
Внеплановые остановки производства, Тво	7,5(180)
Номинальный фонд рабочего времени, Тном.	357,5 (8580)
Простой оборудования в ремонтах, Тппр	30(720)
Эффективное время работы оборудования за год, Тэф	7680

Коэффициент экстенсивного использования оборудования характеризует эффективность его использования во времени.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен  $K_{экс} = T_{эф} / T_{ном}$   
 где  $K_{экс}$  - коэффициент экстенсивности;

$T_{эф}$  - эффективное время работы оборудования, оборудования, ч.;

$T_{ном}$  - календарный фонд времени работы оборудования, ч.

$$K_{экс} = 7680/8580=0,9$$

Коэффициент интенсивности характеризует использование оборудование по производительности.

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$K_{инт} = Q_{пп} / Q_{max}$  где  $Q_{пп}$  – производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{max}$  – максимальная производительность в единицу времени.

$$K_{инт} = 0,17/0,173=0,98$$

Интегральный коэффициент использования мощности:  $K_{им} = 0,9 * 0,98=0,88$

Для определения реального выпуска продукции рассчитывается производственная программа ( $N_{год}$ ):

$$N_{год} = K_{им} * M N_{год} = 76980*0,88=67740 \text{ (т/год)}$$

Таблица 5.18 – Себестоимость продукции

Наименование	Ед. изм.	Цена, р.	Расход		Затраты	
Переменные			на 1 т	на 67740	на 1т	на 67740
1. Сырье						
Сырье 1		12	0,1	6774	1,2	81288
Сырье 2		8,396	0,03	2032,2	0,2519	17062
Всего сырья		20,396		8806,2		98350
2. Энергия						
Итого			0,135	9144,9	1,5009	101670
Постоянные						
3. РСЭО						
Амортизация					0,144	9750
Ремонт					0,019	1300
Всего					0,163	11050
4.зп осн. раб						
4.1 соц.отч.					0,040	2700
5. зп итр.						
5.1 соц. отч.					0,0223	1512
6. зп деж и рем						
7. зп моп.					0,040	2736
7.1соц. очт.					0,012	820,8
Всего ФОТ						
Итого переменных					0,458	30994
Цеховая себестоимость						
Управленческие расходы					0,059	3979,9
Заводская себестоимость						
Коммерческие расходы					0,020	1366,4
Полная себестоимость						
					2,037	138010

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

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

115

Себестоимость единицы продукции: 2,037 тыс. руб.

Цена:

$$Ц_0 = C_0 \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) = 2037 \cdot \left(1 + \frac{22}{100}\right) = 2485 \text{ руб} \quad .(176)$$

Анализ безубыточности производства

Для себестоимости, рассчитанной по исходным данным ( $C_0$ ):

1. Аналитический способ

$$Q_{кр} = \frac{\text{Изд}_{\text{пос}}}{Ц_{1гп} - \text{Изд}_{\text{пер 1 гп}}} = \frac{30994}{2,485 - 1,5009} = 31,5 \text{ тыс. тонн} \quad (177)$$

2. Графический способ

$$В_{пр} = Ц_{1гп} * Q = 2,485 * 67740 = 168334 \text{ тыс. руб} \quad (178)$$

$Q = 67,7 \text{ тыс. т.}$

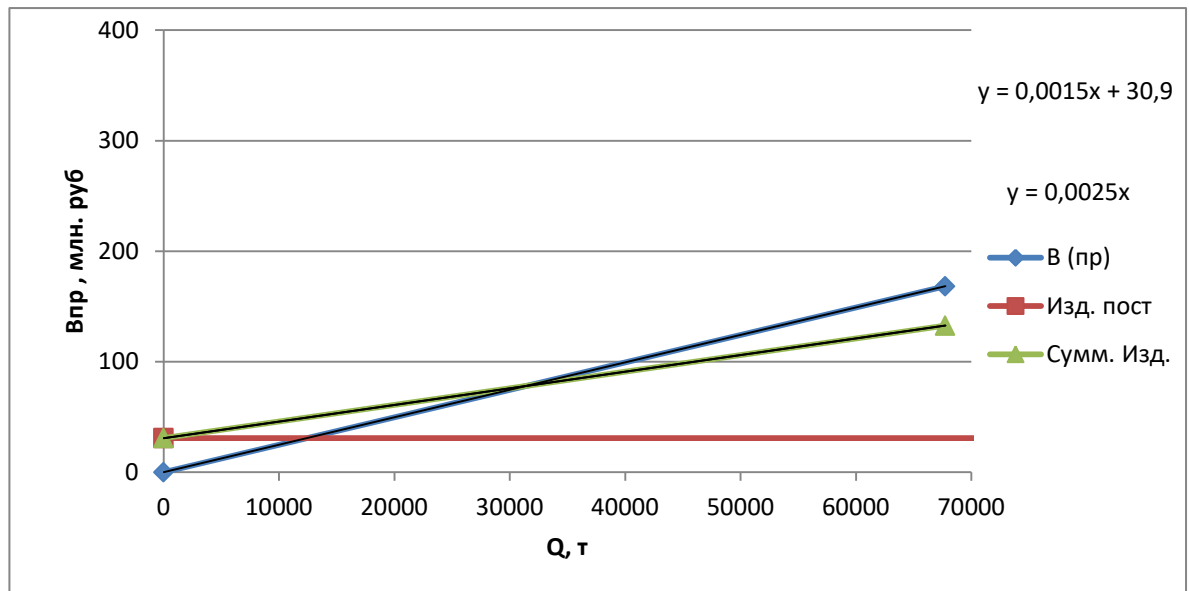


Рисунок 5.1 – График безубыточности для исходных данных

$$Q_{кр} = 30900 \text{ тонн}$$

$$Q_{кр} = 80 \text{ млн. руб}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблица 5.19 – Технико-экономические показатели

№	Наименование показателя	Ед. изм.	C <sub>0</sub>
1	Объем производства	Тыс. т.	67,7
2	Объем продаж	Тыс. т.	67,7
3	Цена 1 тонны	Тыс. руб.	2,485
4	Выручка от продаж	Тыс. руб.	168334
5	Суммарные издержки	Тыс. руб.	132664
5,1	Издержки условно-переменные	Тыс. руб.	101670
5,2	Издержки условно-постоянные	Тыс. руб.	30994
6	Операционная прибыль	Тыс. руб.	35670
7	Налог на прибыль	Тыс. руб.	7134
8	Чистая прибыль	Тыс. руб.	28536
9	Себестоимость 1 тонны	Тыс. руб.	2,037
10	Стоимость основных средств	Тыс. руб.	65000
11	Численность основных рабочих	Чел.	30
12	Фондовооруженность	Тыс. руб./чел.	2166,7
13	Фондоотдача	Руб./руб.	2,56
14	Фондоёмкость	Руб./руб.	0,386
15	Производительность труда	Тыс. руб./чел.	5611,13
16	Рентабельность производства	%	21,51
17	Рентабельность продаж	%	16,952
18	Критический объем продаж	Тыс. т.	30,9
19	Критический объем продаж	Тыс. руб.	80000

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 становится понятно, что продукт конкурентоспособен в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

## 6 Социальная ответственность

Объектом исследования в данной выпускной квалификационной работе является тарельчатая ректификационная колонна для разделения бинарной смеси метанол-вода.

Проектируемый аппарат используется на нефтеперерабатывающих предприятиях, а целевым рынком для него являются: АО «СДС Азот», ПАО «Нижекамскнефтехим», ООО «Самараоргсинтез», ПАО «Куйбышевазот», ПАО «Омский каучук», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», ООО «Томскнефтехим».

На разрабатываемой рабочей площадке будет расположено следующее оборудование: ректификационная колонна, насосы, конденсаторы, подогреватели и т.д. 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, а также вопросы охраны окружающей среды.

Согласно ст. 212, посвященной обязанностям работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда, работодатель обязан обеспечить: соответствующие требованиям охраны труда условия труда на каждом рабочем месте в соответствии с действующими нормативно правовыми нормами: Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года "О специальной оценке условий труда"; Федеральный закон №184-ФЗ "О техническом регулировании от 27 декабря 2002 года; Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г. (ред. от 10.07 2012г) "Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности" [25, с. 15-17].

					<b>ФЮРА.066212.001 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Студент</i>	<i>Санников Н.В.</i>				<b>Социальная Ответственность</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Тихонов Н.В.</i>						118	11
<i>Конс.</i>	<i>Скачкова Л.А.</i>					ТПУ ИШНПТ		
<i>Н. Контр.</i>						НОЦ Н.М. Кижнера		
<i>Руков. ООП</i>	<i>Беляев В.М.</i>					Группа 4К51		

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

### **6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

В данном пункте приводятся особенности трудового законодательства применительно к конкретным условиям проекта. Например, виды компенсаций при работе во вредных условиях труда, запрещение использования труда женщин и подростков, особенности обязательного социального страхования и пенсионного обслуживания и т.д.

При эксплуатации ректификационной колонны, согласно Трудовому кодексу, ограничивается применение труда женщин при работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на подземных работах, за исключением нефизических работ или работ по санитарному и бытовому обслуживанию, а также, запрещается применение труда лиц в возрасте до восемнадцати лет на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, на подземных работах, а также на работах, выполнение которых может причинить вред их здоровью и нравственному развитию. Также, работнику в обязательном порядке предоставляются краткосрочные внеплановые и ежегодные дополнительные оплачиваемые отпуска.

Предприятие работает 24 часа в сутки, рабочий процесс осуществляется попеременно двумя сменами по двенадцать часов: с 8 до 20 часов – дневная смена, с 20 до 8 часов – ночная смена. После 4 часов работы с начала смены каждому работнику предоставляется часовой обеденный перерыв [23].

Машины, механизмы и другое производственное оборудование, химические вещества, средства индивидуальной и коллективной защиты работников, должны соответствовать государственным нормативным требованиям охраны труда и иметь декларацию о соответствии или сертификат соответствия.

Рабочие и служащие, занятые на тяжелых и вредных работах, а также на работах, связанных с движением транспорта, проходят обязательные предварительные, при поступлении и периодические медицинские, осмотры для определения пригодности их к поручаемой работе и предупреждения профессиональных заболеваний.

Каждый работник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда, обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом, получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						119
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов, отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности, обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя, обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя, личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания, внеочередной медицинской осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра, гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

### **6.1.2 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 устанавливать 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.

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						120
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		



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., 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.

## 6.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						121
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

разработке и эксплуатации данного прибора. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-15 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [17]. Выявленные факторы перечислены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации ректификационной колонн

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Превышение уровня шума	-	-	+	СанПиН 2.2.4.3359-16
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.3359-16
3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	-	+	+	СанПиН 2.2.4.3359-16

### 6.2.1 Выявление вредных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования

Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией [18].

#### Повышенный уровень вибрации

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

Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора не менее 1 дБ (в 1,12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза). При показателе превышения более 12 дБ (в 4 раза) запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию [24].

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

Создание вибробезопасных машин должно обеспечиваться применением методов, снижающих вибрацию в источнике возбуждения, которые приведены в ГОСТ 26568-85 [24].

#### **Повышенная температура воздуха рабочей зоны**

Относительно высокое значение температуры воздуха рабочей зоны обуславливается тем, что в ректификационной колонне производится массообменный процесс. Корпус аппарата нагревается до 170 градусов Цельсия и нагревает воздух. На аппарате установлена теплоизоляция для уменьшения тепловых потерь и защиты от ожогов.

Санитарные правила и нормы 2.2.4.548-96 устанавливают определённый микроклимат для всех типов рабочих помещений. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений согласно [19] в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Теплый	22-24	40-60	0,1

#### **Повышенный уровень шума**

Шум непосредственно связан с вибрацией. В ректификационной колонне проходят потоки гидрогенизата, постоянно ударяясь о стенки и перегородки аппарата. Кроме того, основной шум создают насосы, которые и перекачивают потоки флегмы.

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

Шумы создаются работающими приборами, вентиляторами. В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно. Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с [21]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА. [21].

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

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски; противошумные костюмы.

## **6.2.2 Анализ опасных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования**

Электрический ток.

При сборке, настройке, подключении и эксплуатации разрабатываемого устройства возможно поражение электрическим током, что является опасным фактором

Согласно требованиям конструкция производственного оборудования, приводимого в действие электрической энергией, должна включать устройства (средства) для обеспечения электробезопасности.

Технические средства и способы обеспечения электробезопасности (например, ограждение, заземление, зануление, изоляция токоведущих частей, защитное отключение и др.) должны устанавливаться в стандартах и технических условиях на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок) с учетом условий эксплуатации и характеристик источников электрической энергии.

Производственное оборудование должно быть выполнено так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве, представляющем опасность для работающего, и исключить возможность пожара и взрыва [18].

Основные способы и средства электрозащиты:

- изоляция токоведущих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						124
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;
- зануление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электрозащиты [18].

Повышенная температура поверхности оборудования.

На ректификационную колонну необходимо установить защитный экран для предотвращения разбрызгивания жидкости в случае выхода из строя прокладок, а также от воздействия факторов. Защитный экран может быть изготовлен из листа оцинкованной или нержавеющей стали толщиной от 0,5 до 0,8 мм и размещается между пакетом пластин и шпильками, стягивающими теплообменник. Защитный экран в комплект поставки не входит.

При необходимости нахождения людей вблизи горячих частей оборудования должны быть приняты меры по их защите ожогов и действия

высокой температуры (ограждение действующего оборудования, вентиляция, спецодежда и т.п.) [19].

Все горячие части оборудования, трубопроводы, баки и другие элементы, прикосновение к которым может вызвать ожоги, должны иметь тепловую изоляцию. Температура на поверхности изоляции при температуре окружающего воздуха 25 град. С должна быть не выше 45 град. С. Окраска, условные обозначения, размеры букв и расположение надписей должны соответствовать Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды и ГОСТ 14202-69 [22].

Трубопроводы агрессивных, легковоспламеняющихся, горючих, взрывоопасных или вредных веществ должны быть герметичными. В местах возможных утечек (краны, вентили, фланцевые соединения) должны быть установлены защитные кожухи, а при необходимости - специальные устройства со сливом из них продуктов утечек в безопасное место.

### 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.

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						125
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Решения по обеспечению экологической безопасности, охрана окружающей среды достигается комплексом мероприятий, направленных на предотвращение утечек метанола, 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**

После ввода аппарата в эксплуатацию на производстве могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации:

- возникновение пожара и взрыва (ввиду пожаро- и взрывоопасности разделяемой фракционной смеси жидких углеводородов);
- возникновение производственных аварий техногенного характера (нарушение герметичности оборудования, разрыв трубопроводов);
- природные ЧС (ввиду больших габаритных размеров, а именно высоты проектируемой колонны существует опасность возникновения ЧС под действием ветровой нагрузки).

Для предотвращения воздействия ветровой нагрузки в бакалаврской работе приведены расчеты на действие ветровых нагрузок в разделе «конструктивно-механический расчет». Для ликвидации последствий возникновения аварий такого характера необходимо провести мероприятия в следующей последовательности:

- эвакуация персонала из зоны поражения;
- локализация источника аварии;
- ремонтные работы;
- устранение причин аварии.

Наиболее опасной чрезвычайной ситуацией на данном производстве следует принять возникновение пожара и взрывов. Причинами возникновения данных ЧС могут являться:

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						126
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- технические неполадки, в результате которых происходит отклонение технологических параметров, с последующим разрушением оборудования;
- неосторожное обращение с огнем при производстве ремонтных работ;
- события, связанные с человеческим фактором;
- внешнее воздействие техногенного или природного характера;
- повышенная температура воздуха и предметов;
- пониженная концентрация кислорода в воздухе.

Для предотвращения пожара рабочее место должно быть обеспечено системой предотвращения пожара, направленная на минимизацию ущерба на людей от пожара и ограничения ущерба от него, проведены организационные мероприятия, обеспечено наличие технических средств, уменьшающих риск возникновения пожара.

Мероприятия, которые должны проводиться для обеспечения пожаробезопасности [20]:

- предотвращение распространения пожара за пределы очага;
- применение конструкций производственных объектов с регламентированным пределом их огнестойкости и горючести;
- эвакуацию людей в случае пожара;
- применение средств индивидуальных и коллективных средств защиты от огня;
- применение средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре;
- организацию пожарной охраны объекта.

Необходимо, чтобы на блочном щите управления находили пенные, порошковые и водные огнетушители.

На участках с непосредственным контактом с водой необходимо следить за тем, чтобы вода не попадала на электропроводку и распределительные коробки для избегания короткого замыкания и возникновения пожара.

Все проходы должны быть свободными и иметь хотя бы два выхода, необходимо избегать длинных тупиковых проходов.

Последовательность и механизмы действия при пожаре приведены в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами и инструкциями[24]. 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 горящей одежды использовать воду.

					<i>ФЮРА.066212.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						127
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## Заклучение

В процессе проделанной работы была рассчитана ректификационная колонна для разделения бинарной смеси метанол-вода.

Были получены следующие данные:

-тип тарелок ТС-Р (тарелки ситчатые);

-расход дистиллята  $P=1,452$  кг/с;

-расход кубового остатка  $W=1,328$  кг/с;

-расход тепла на подогреве  $Q_{нагр}=558,1$  кВт ;

-расход тепла на испарение смеси  $Q_{кип}=3699,3$  кВт;

-основные размеры ректификационной колонны, в том числе:

- высота цилиндрической части колонны  $H=8100$  мм;
- диаметр колонны  $D=1600$  мм;
- высота цилиндрической части крышки и днища 60 мм;
- высота эллиптической части крышки и днища 400 мм;
- высота опоры 1400 мм;

-рабочее число тарелок равно 10.

Также был проведен расчет гидравлического сопротивления тарелок, на основе которого было принято минимальное расстояние между ними равно 500 мм.



## Список используемой литературы

1. Основные процессы и аппараты химических производств. Ч. 2: Учеб. пособие / С.А. Бабенко, В.И. Косинцев, В.М. Миронов и др. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 148 с.
2. 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.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – 14-е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 576 с.
4. Справочник по молекулярной диффузии в системах газ–жидкость и жидкость–жидкость [Электронный ресурс] / ред. А.Г. Новоселов, В.Б. Тишин, А.Б. Дужий. URL: [http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa/10\\_protsesty\\_i\\_apparat\\_y\\_khimicheskikh\\_tekhnologiy\\_chast\\_II/7220](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/10_protsesty_i_apparat_y_khimicheskikh_tekhnologiy_chast_II/7220), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения 25.05.2019 г.
5. Динамическая вязкость газов и паров [Электронный ресурс] ред. И.К. Кикоина. М.: Атомиздат. URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/gazy-raznye/dinamicheskaya-vyazkost-gazov-i-parov>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения 25.05.2019 г.
6. Беляев, В.М. Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли Часть I / В.М. Беляев, В.М. Миронов. – 3-е изд. – У: ТПУ, 2016. – 314с.
7. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., доп. и испр. А. С. Зубченко, М. М. Колосков и др. Под общей ред. А. С. Зубченко — М.: Машиностроение, 2003. 784 с. 8. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общитребования (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1989-ст)
9. ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1990-ст)
10. ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1991-ст)
11. ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1992-ст)

12. Лашинский А.А. «Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – 2-е изд., перепечатка с 1981 г. М.: ИД «Альянс», 2008 -384 с.; размеры.
13. ГОСТ 51273 – 99 «Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий»;
14. ГОСТ 51274 – 99 «Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность»;
15. ГОСТ Р 14249 - 89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. М.: Изд-во стандартов, 1989.-55 с.
16. АТК 24.200.04-90. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры.
17. ГОСТ 12.0.003-15 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
18. ГОСТ 12.0.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Термины и определения.
19. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
20. Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03) 149
21. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 20012. — 35 с. — Государственные стандарты.
22. ГОСТ 14202-69 Трубопроводы промышленных предприятий. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2007. — 24 с. — Государственные стандарты.
23. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст] : от 30.12. 2001 г. № 197-ФЗ (ред. От 01.04.2019), введ в действие с 01.02.2002 / Российская Федерация. Законы. — Волгоград ; М. : Изд-во ВолГУ : Либрис, 2002. — 225с. ГОСТ 26568-85 Вибрация. Методы и средства защиты. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2008. — 26 с. — Государственные стандарты.
24. Кушелев В.П. Основы техники безопасности на предприятиях химической промышленности.- Л.: Химия, 1977 - 279 с.
25. Трудовой кодекс Российской Федерации от от 30.12.2001 N 197-ФЗ

**Приложение А**  
(обязательное)

Ф-т	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A4			ФЮРА.066212.001 ПЗ	Пояснительная записка	131	
A1			ФЮРА.066212.001 ВО	Чертеж общего вида	1	
A2			ФЮРА.066212.001 СТ	Схема технологическая	1	
A2			ФЮРА.066212.001 ЭП	Экономические показатели	1	
				<u>Детали</u>		
		1		Крышка эллиптическая	1	
		2		Тарелка ситчатая	10	
		3		Обечайка цилиндрическая	1	
		4		Днище эллиптическое	1	
		5		Опорная обечайка	1	
		6		Штуцер для выхода жидкости из куба	1	
		7		Штуцер для входа паров дистиллята	1	
		8		Штуцер для ввода флегмы	1	
		9		Люк-лаз	4	
				<u>Стандартные изделия</u>		
		10		Болт М12 ГОСТ 7805-70	12	
		11		Гайка М12 ГОСТ 5915-70	12	
		12		Шайба 12 ГОСТ 11371-78	12	
		13		Болт М20 ГОСТ 7805-70	160	
		14		Гайка М20 ГОСТ 5915-70	160	
		15		Шайба 20 ГОСТ 11371-78	160	
		16		Болт М36 ГОСТ 7805-70	6	
				<u>Материалы</u>		
				Солевит		
				Паронит		

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

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

131