



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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы			
Проектирование ректификационной колонны бензол-толуол тарельчатого типа			
УДК <u>66.048.3</u>			
Студент			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К51	Симагин Виктор Сергеевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

Консультант по разделу «Механический расчет оборудования»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП 18.03.02 2020г

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК-1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК-1,2; ПК-1,3,,9; ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК-5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК – 1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ОПК – 3; ПК-1,4,6,7,9,10,11; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-4,6,8) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

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



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
3-2К51	Симагин Виктор Сергеевич

Тема работы:

Проектирование ректификационной колонны бензол-толуол тарельчатого типа	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.03.2020 г., №62-13/С
Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.05.2020

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования ректификационная колонна бензол-толуол тарельчатого типа Производительность колонны по дистилляту $P = 6.5$ т/ч; Содержание легколетучего компонента в % (масс.): в исходной смеси – 32; в дистилляте - 91; в кубовом остатке – 4. Рабочее давление в колонне атмосферное.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение 1. Литературный обзор 2. Технологическая схема 3. Технологический расчет колонны 4. Расчет тепловой изоляции 5. Механический расчет колонны 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7. Социальная ответственность Заключение Список использованных источников</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема установки А1 Лист 2 – Общий вид ректификационной колонны А1 Лист 3 – Выносные элементы колонны А1 Лист 4 – Экономические показатели А-1.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p style="text-align: center;">Креницына Зоя Васильевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p style="text-align: center;">Черемискина Марина Сергеевна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p> </p>	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К51	Симагин Виктор Сергеевич		

Реферат

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, содержащей 104 страниц машинописного текста, 27 рисунков, 30 таблиц, 32 источников литературы, 4 листа графического материала формата А1.

Выпускная квалификационная работа «Проектирование ректификационной колонны бензол-толуол тарельчатого типа».

Ключевые слова: колонна, ректификация, тарелки, колпачки, бинарная смесь.

Объектом исследования является ректификационная колонна для разделения бинарной смеси бензол-толуола.

Цель работы – рассчитать ректификационную колонну для заданных технологических условий.

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

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Аппарат диаметром 1800 мм, толщина стенки обечайки 10 мм, высота 12370 мм, 2 штуцера диаметром 250 мм, 2 штуцера диаметром 65 мм и 1 штуцер диаметром 50 мм.

Область применения: химическая промышленность.

В ходе работы было подтверждено, что рассчитанная ректификационная колонна соответствует всем предъявляемым требованиям технологического процесса, а также условиям прочности и устойчивости для данного типа устройств.

Abstract

The graduation project consists of an explanatory note containing 104 pages of typewritten text, 27 figures, 30 tables, 32 literature sources, 4 sheets of graphic material in A1 format.

Final qualification work "Designing a rectification benzene-toluene column-type distillation column."

Key words: column, rectification, plates, caps, binary mixture.

The object of the study is a distillation column for the separation of a binary mixture of benzene-toluene.

The purpose of the work is to calculate a distillation column for given technological conditions.

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

The main design, technological and technical and operational characteristics: The apparatus with a diameter of 1800 mm, the shell wall thickness is 10 mm, the height is 12370 mm, 2 fittings with a diameter of 250 mm, 2 fittings with a diameter of 65 mm and 1 fitting with a diameter of 50 mm.

Scope: chemical industry.

During the work, it was confirmed that the calculated distillation column meets all the requirements of the technological process, as well as the conditions of strength and stability for this type of device.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

ректификация: Процесс разделения двойных или многокомпонентных смесей за счёт противоточного массообмена между паром и жидкостью.

ректификационная колонна: Аппарат для разделения многокомпонентных смесей путем двустороннего тепло- и массообмена.

расчетное давление: Давление, на которое проводят расчет на прочность.

пробное давление: Давление, при котором проводят испытание сосуда или аппарата.

расчетная температура: Наибольшая температура стенки элемента с учетом температурных условий, ожидаемых в процессе эксплуатации.

Содержание

Введение	9
1 Литературный обзор	10
1.1 Ректификация	11
1.2 Автоматизация ректификационной колонны	13
2 Технологическая схема ректификационной установки	16
3 Технологический расчет ректификационной колонны	17
3.1 Материальный баланс ректификационной колонны	17
3.2 Построение фазовых диаграмм	18
3.3 Определение рабочего флегмового числа	19
3.4 Определение скорости пара и диаметра колонны	24
3.5 Расчет штуцеров и подбор фланцев	33
3.6 Определение основных размеров колпачка	34
3.7 Гидравлическое сопротивление тарелок колонны	35
4 Расчет тепловой изоляции	36
5 Механический расчет ректификационной колонны	37
5.1 Выбор конструкционного материала	38
5.2 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки колонны	41
5.3 Расчет толщины стенки эллиптической крышки (днища)	48
5.4 Расчет необходимости укрепления отверстий	50
5.5 Расчет на прочность и герметичность фланцевого соединения крышки и корпуса	52
5.6 Расчет колпачковой тарелки на прогиб	64
5.7 Расчет аппарата на прочность	66
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	77
6.1 Планирование научного исследования	78
6.2 Расчет затрат	81
6.3 Определение ресурсной эффективности исследования	85
7 Социальная ответственность	90
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	90
7.2 Производственная безопасность	91
7.3 Экологическая безопасность	95
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	96
Заключение	98
Список использованных источников	99
Приложение А	102
Приложение Б	104

Введение

Ректификационная колонна является одним из аппаратов, используемых в перегонке жидких смесей для разделения их на составные части на основе различий в летучести. Ректификационные колонны широко используются в химической промышленности, для перегонки большого количества жидкости. Отрасли, использующие реактификацию: нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, газоперерабатывающая и т.д.

Промышленные ректификационные колонны обычно работают в непрерывном устойчивом режиме. При отсутствии изменений в управляющих параметрах, а также в составе разделяемого сырья количество добавляемого сырья обычно равно количеству удаляемого продукта.

Количество тепла, поступающего в колонну от ребойлера и исходной смеси, должно равняться количеству тепла, отводимого верхним конденсатором и продуктами. Тепло, поступающее в ректификационную колонну, является критически важным рабочим параметром, избыток или недостаток тепла в колонне может привести к пенообразованию или захлебыванию.

Внутри колонны нисходящая жидкость обеспечивает охлаждение и конденсацию восходящих паров, тем самым повышая эффективность работы ректификационной колонны. Чем больше флегмовое число, тем лучше разделение исходной смеси на составляющие. Конструкция ректификационной колонны зависит от состава сырья, а также от состава желаемых продуктов.

1 Литературный обзор

Ректификация является наиболее широко используемой технологией промышленного разделения бинарных и не только смесей, а ректификационные установки потребляют значительную часть всей тепловой энергии в мировой нефте- и газоперерабатывающей промышленности. По некоторым оценкам общее энергопотребление ректификационных установок равно 40% от общего энергопотребления при переработке и непрерывных химических процессах. Хотя дистилляция, безусловно, является наиболее широко применяемой технологией разделения, ее основным недостатком является неизбежное снижение энергии из-за разницы температур между ребойлером и конденсатором; что приводит к низкой общей термодинамической эффективности дистилляционной колонны ниже 10%.

В прошлом дистилляционные колонны широко использовались для разделения смесей жидкостей на отдельные компоненты. И хотя новые технологии разделения разрабатываются, дистилляция остается наиболее важным методом разделения, применяемым в перерабатывающей промышленности сегодня.

Расположение простой ректификационной колонны показано на рисунке 1.1.

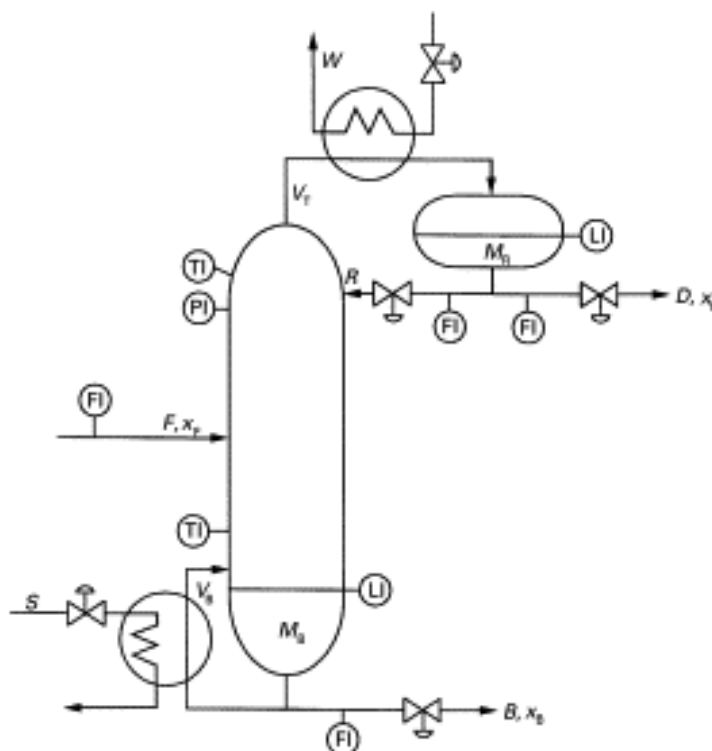


Рисунок 1.1 - Схематичное изображение ректификационной колонны: V - поток пара; F - поток сырья; R - поток флегмы; D - поток дистиллята; B - кубовый поток; x = состав; M - объем кубовой жидкости; W и S - охлаждающая вода и поток пара соответственно

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

10

1.1 Ректификация

Процесс ректификации осуществляется за счет двустороннего тепло- и массообмена между восходящим потоком пара и нисходящим потоком жидкости, которые различаются как по составу, так и по температуре. Ректификация характеризуется равновесностью процесса, но возможно ли его достичь на практике? Если мы имеем бесконечно большой отрезок времени, то равновесие легко достижимо, это означает, что температура и состав восходящего и нисходящего потоков равны, а их корреляция описывается уравнением равновесия. Данная схема в литературе [1, 2] называется «теоретическая тарелка» или «теоретическая ступень».

Однако мы не обладаем бесконечным запасом времени, а, следовательно, на практике состояние равновесия не достигается. Раз состояние равновесия не достигается, то состав и температура описываемых нами потоков не равны, а, следовательно, их корреляция нельзя записать только одним уравнением равновесия. Корреляция этих параметров будет описываться гораздо более сложным уравнением, чем уравнение равновесия.

Ректификация подразделяется на периодическую и непрерывную:

- периодическая ректификация применяется для мелкотонажного производства, т.к. использование непрерывной схемы ректификации нерентабельно. Последовательная ректификация производится по следующей схеме: в колонну помещают исходное сырье, а затем последовательно отгоняют каждый компонент, входящий в состав исходной смеси, технологические параметры носят динамический характер, т.к. изменяются со временем (например, температура постоянно повышается);

- непрерывная ректификация используется для крупнотонажного производства и характеризуется стационарностью процесса. Технологические параметры могут изменяться во времени, однако это необходимо для регулирования работы колонны и максимизации ее КПД. Также при непрерывной ректификации выделяется от 2 компонентов и более, все зависит от сложности колонного аппарата.

Процесс ректификации осуществляется в колонных аппаратах, снабженных массообменными устройствами, которые позволяют осуществлять двусторонний тепло- и массообмен – ректификационные колонны. Для создания паровой фазы в куб колонны необходимо подвести тепло равное теплу испарения кубовой жидкости. Для создания жидкой фазы в верхней части колонны существенно снижают температуру за счет конденсации паров флегмы и возврата их в колонну в жидком агрегатном состоянии.

Верхняя часть колонны, в которой происходит концентрирование низкокипящего

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

11

компонента называется укрепляющей (концентрационной), в то время как нижняя часть колонны, где происходит концентрирование высококипящего компонента, называется исчерпывающей или отгонной. Ввод сырья осуществляется между этими частями колонны на так называемую тарелку питания.

Ректификационные колонны подразделяются не только по изменению параметров во времени, но и по сложности их конструкции [1, 2]:

- простые колонны (рис. 1.2) необходимы для разделения бинарных систем на исходные компоненты: продукт верхней части колонны (ректификат или дистиллят) и продукт нижней части колонны (кубовый остаток).

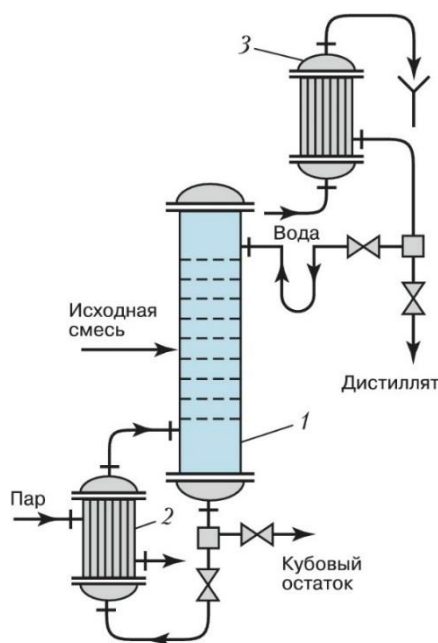


Рисунок 1.2 – Схема простой ректификационной колонны: 1 – ректификационная колонна, 2 – ребойлер, 3 - конденсатор.

- особенность сложных ректификационных колонн (рис.1.3) заключается в разделении исходной смеси, состоящей из более, чем двух компонентов, на составные части, а не на две фракции, как это происходит при ректификации в простых колоннах. Особенность конструкции, которая позволяет сложным колоннам разделять исходную смесь на более, чем 2 компонента заключается в отборе бокового продукта. Это осуществляется двумя различными способами: отбор боковых продуктов происходит в виде боковых погонов; отбор происходит из сприннинг-секций (отпарные колонны, устанавливающиеся для более качественного разделения бокового продукта).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

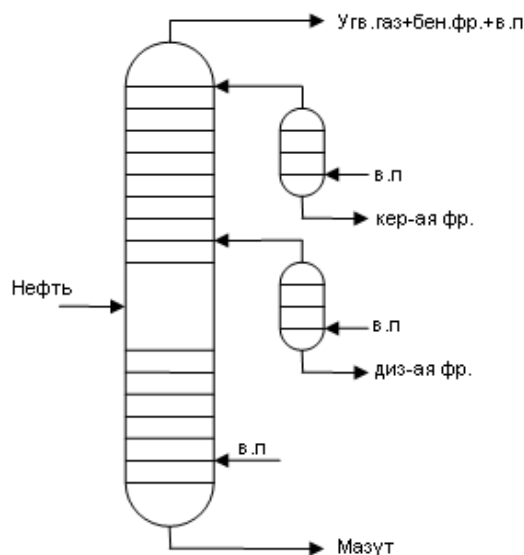


Рисунок 1.3 – Схема сложной ректификационной колонны

На практике редко используются сложные ректификационные колонны ввиду их низкого КПД по боковым поганам. Ввиду этого для разделения небинарных смесей применяются системы последовательно установленных простых ректификационных колонн. Несмотря на существенное увеличение капитальных затрат данный метод разделения небинарных систем является более экономичным, чем установка сложной ректификационной колонны.

Основными технологическими параметрами ректификации являются давление, температура, расход флегмы и кубовой жидкости. Изменяя данные параметры возможно контролировать процесс ректификации. При правильном соотношении этих параметров достигается максимальный КПД процесса ректификации. Контроль, а главное правильное соотношение этих параметров ложится на плечи современных систем автоматизации и контроля процессов ректификации.

1.2 Автоматизация ректификационной колонны

Питающий поток поступает в колонну сбоку и в ходе ректификации разделяется на два продукта: легкие или наиболее летучие компоненты выводятся сверху, а тяжелые компоненты удаляются снизу. Тепло (в показанном случае, пар) для испарения жидкости подается в ребойлер. В конденсаторе производится охлаждение дистиллята (в данном случае через охлаждающую воду). Чтобы поддерживать постоянное разделение в ректификационной колонне, она должна быть оснащена массообменными устройствами.

Для повышения производительности колонные ее необходимо контролировать. Контроль

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

ректификационной колонны производится за счет контрольного оборудования и автоматики (КИПиА). На рисунке 1.1 представлена стандартная обвязка колонны приборами КИПиА.

Поскольку в колонне присутствуют пар и жидкость с определенным содержанием энергии, базовая аппаратура включает измерения пара (давление в колонне), жидкости (уровень на дне колонны и уровень флегмы в конденсаторе) и, как правило, ряд температур вдоль колонки. Кроме того, входящие и исходящие потоки обычно измеряются, как показано на рисунке 1.1.

Поскольку питающий поток ректификационной колонны часто фиксируется с помощью предыдущего процесса, то на рисунке 1 не показан регулирующий клапан, хотя иногда для регулирования входного потока используется регулирующий клапан предварительного нагревателя подачи. Это означает, что остаются пять управляемых потоков и, по существу, существует пять степеней свободы для контроля. Тем не менее, необходимо контролировать задержку пара и жидкости, что означает, что остаются $5 - 3 = 2$ степени свободы, которые обычно используются для контроля состава.

Дистилляционные колонны, которые разделяют компоненты с очень низкой относительной летучестью, требуют большого количества тарелок (> 100). Типичными примерами являются колонны для разделения пропилена и пропана или разделение изомеров (например, изопентана и нормального пентана).

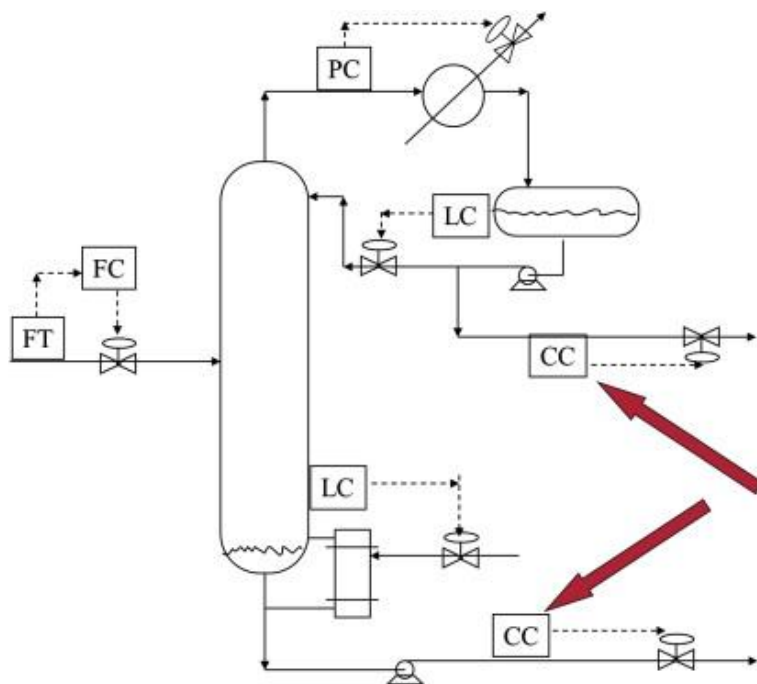


Рисунок 1.4 - Схема автоматизации ректификационной колонны

Уровень конденсатора должен контролироваться путем манипулирования

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

скоростью потока флегмы, поскольку поток дистиллята намного меньше, чем поток пара верхнего погона. Чтобы избежать насыщения клапана, больший поток следует использовать для контроля уровня. Такая же ситуация возникает в основании колонны. Нижний поток намного меньше, чем жидкость, поступающая в основание колонны. Это говорит о том, что базовый уровень должен контролироваться путем манипулирования расходом ребойлера. На рисунке 1.4 показана схема и структура управления.

Контроль колонны путем изменения расходов кажется странным способом контроля, потому что мы не можем независимо установить скорости обоих продуктовых потоков, поскольку в стационарных условиях они должны увеличивать скорость потока сырья. Тем не менее, эта структура работает во многих колоннах. Два контроллера состава устанавливают скорости двух продуктовых потоков. Уровень рефлюкс-барабана контролируется рефлюксом, базовый уровень контролируется паром.

Основной проблемой такого способа контроля является - его хрупкость. Если один из контролируемых параметров помещен вручную, то контроль при помощи такого способа не удастся, потому что один из продуктов будет иметь фиксированную скорость потока. Таким образом, если один из анализаторов выходит из строя, структура управления должна быть изменена.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

15

2 Технологическая схема ректификационной установки

Технологическая схема ректификационной установки приведена на рисунке 2.1.

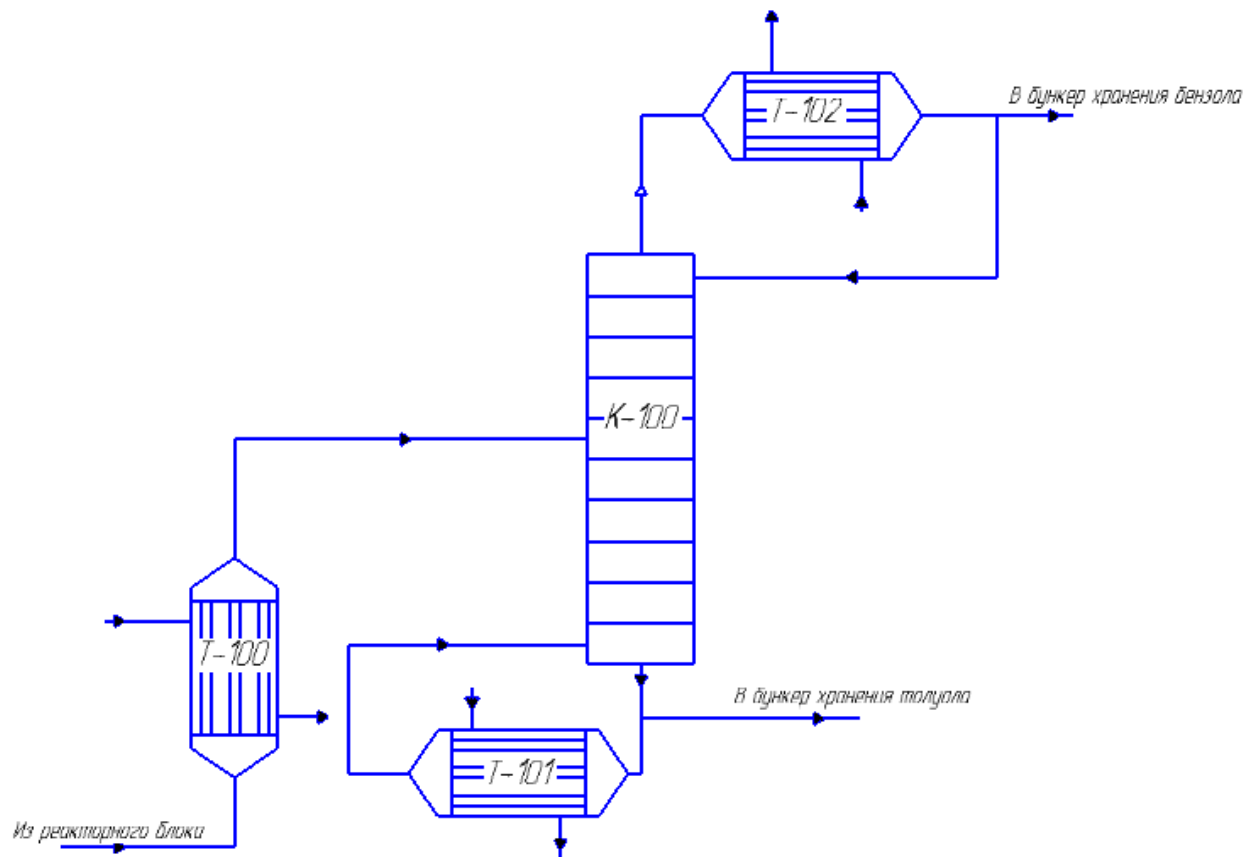


Рисунок 2.1 – Технологическая схема ректификации бинарной смеси: Т-100, Т-101 – теплообменник-подогреватель; Т-102 – конденсатор; К-100 – колпачковая ректификационная колонна

Бинарная смесь бензол-толуола из реакторного блока попадает в кожухотрубный теплообменник-подогреватель Т-100, где нагревается до температуры кипения, путем теплообмена с горячей утилитой. После кожухотрубного теплообменника Т-100 бинарная смесь попадает на 9 тарелку колпачковой ректификационной колонны К-100. В колонне К-100 бинарной смеси разделяется путем двустороннего тепло- и массообмена на бензол и толуол заданных концентраций. Бензол удаляется через верх колонны и попадает в конденсатор Т-102, где охлаждается и конденсируется. После конденсатора Т-102 бензол разделяется на два потока: первый поток направляет обратно в колонну в виде флегмы, а второй поток направляется в бункер хранения бензола. Тoluол отбирается из куба ректификационной колонны К-100 и разделяется на два потока: первый поток направляется в бункер хранения толуола, а второй поток пройдя кожухотрубный теплообменник-нагреватель Т-101 возвращается в куб колонны К-100.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

16

3 Технологический расчет ректификационной колонны

3.1 Материальный баланс ректификационной колонны

Исходные данные для расчета ректификационной колонны:

Производительность колонны по дистилляту $F = 6.5$ т/ч;

Содержание легколетучего компонента:

- исходная смесь $x'f = 32$ %;

- дистиллят $x'p = 91$ %;

- кубовый остаток $x'w = 4$ %;

Рабочее давление в колонне $P_{абс} = 0.1$ МПа.

Производительность колонны по дистилляту P и кубовому остатку W определим из уравнений материального баланса колонны:

$$F = P + W \quad (3.1)$$

$$Fx'f = Px'p + Wx'w \quad (3.2)$$

где $x'f$ - массовая доля низкокипящего компонента в исходной смеси;

$x'p$ - массовая доля низкокипящего компонента в дистилляте;

$x'w$ - массовая доля низкокипящего компонента в кубовом остатке.

Отсюда находим:

$$W = 6.5 \frac{(0.91 - 0.32)}{(0.91 - 0.04)} = 4.34 \text{ т/ч}$$

$$P = F - W = 6.50 - 4.34 = 2.16 \text{ т/ч}$$

Нагрузки ректификационной колонны по пару и жидкости определяются рабочим флегмовым числом R ; его оптимальное значение $R_{опт}$ можно найти путем технико-экономического расчета. Ввиду отсутствия надежной методики оценки $R_{опт}$ используют приближенные вычисления, основанные на определении коэффициента избытка флегмы (орошения) $\beta = R/R_{min}$. Здесь R_{min} —минимальное флегмовое число:

$$R_{min} = (x_p - y^*F)/(y^*F - x_f) \quad (3.3)$$

где x_f и x_p — мольные доли легколетучего компонента соответственно в исходной смеси и дистилляте, кмоль/кмоль смеси; y^* — концентрация легколетучего компонента в паре, находящемся в равновесии с исходной смесью, кмоль/кмоль смеси.

Обычно коэффициент избытка флегмы, при котором достигается оптимальное флегмовое число, не превышает 1,3. Один из возможных приближенных методов расчета R заключается в нахождении такого флегмового числа, которому соответствует минимальное произведение $N(R+1)$, пропорциональное объему ректификационной колонны (N —число ступеней изменения концентраций или теоретических тарелок,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

17

определяющее высоту колонны, а R+1—расход паров и, следовательно, сечение колонны).

Определим R по этой рекомендации.

Пересчитаем составы фаз из массовых долей в мольные по соотношению:

$$x_f = \frac{0.32/78}{0.32/78 + (1 - 0.32)/92} = 0.491$$

Аналогично найдем: $x_p=0.914$; $x_w=0.058$ кмоль/кмоль смеси. Тогда минимальное флегмовое число равно:

$$R_{\min} = (0.914 - 0.62)/(0.62 - 0.491) = 2,279$$

3.2 Построение фазовых диаграмм

Необходимо построить x-y диаграмму заданной бинарной смеси и ее линию равновесия. Воспользуемся справочными данными [2] и определим равновесный состав паровой и жидкой фазы бензола и толуола при атмосферном давлении.

Таблица 3.1 - Равновесные составы паровой и жидкой фаз смеси бензола и толуола:

X, мол.доли	1	0,82	0,66	0,51	0,38	0,26	0,15	0,06	0
Y, мол.доли	1	0,92	0,83	0,72	0,6	0,45	0,3	0,13	0
T, °C	80	84	88	92	96	100	104	108	110

По таблице 3.1 строим график зависимости содержания низкокипящего компонента (бензола) в паре от его содержания в жидкости (линия равновесия), представленного на рисунке 3.1 и график зависимости температуры от составов жидкой и паровой фаз (t-x-y - диаграмма), представленного на рисунке 3.2.

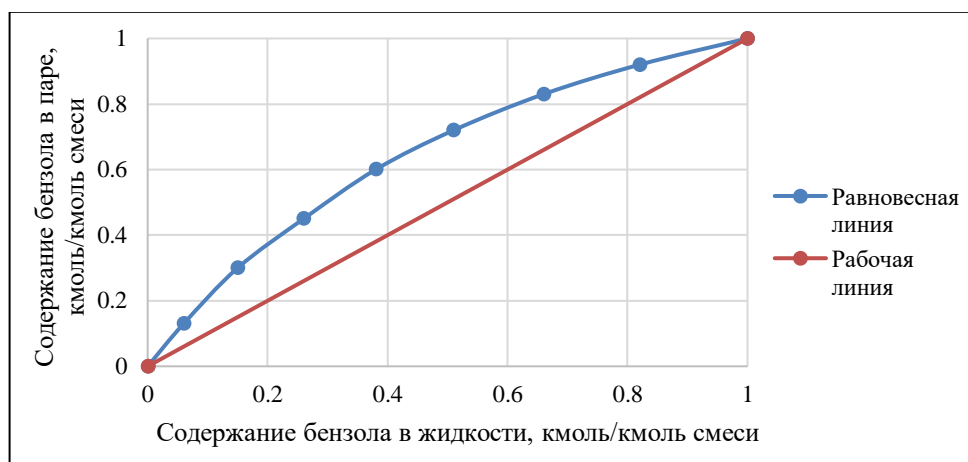


Рисунок 3.1 - График зависимости содержания низкокипящего компонента (бензола) в паре от его содержания в жидкости (линия равновесия)

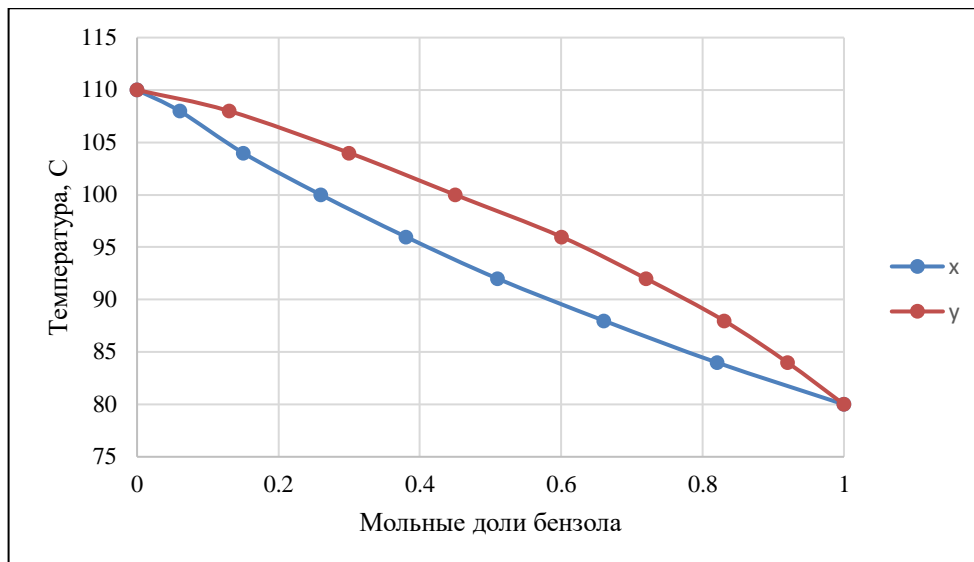


Рисунок 3.2 - График зависимости температуры от составов жидкой и паровой фаз (t-x-y - диаграмма)

3.3 Определение рабочего флегмового числа

Задавшись различными значениями коэффициентов избытка флегмы β , определим соответствующие флегмовые числа. Графическим построением ступеней изменения концентраций между равновесной и рабочими линиями на диаграмме состав пара y — состав жидкости x находим N . Результаты расчетов рабочего флегмового числа представлены на рисунках 3.3 – 3.7 и приведены ниже:

Для каждого значения R на y - x диаграмме строим рабочие линии укрепляющей и исчерпывающей частей колонны по уравнениям:

- для укрепляющей части:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_p}{R+1} \quad (3.4)$$

- для исчерпывающей части:

$$y = \frac{R+f}{R+1} \cdot x - \frac{f-1}{R+1} \cdot x_w \quad (3.5)$$

Таблица 3.2 - Результаты расчетов

β	0.6	0.7	0.75	0.8	0.9
R	1.37	1.59	1.71	1.82	2.05

Продолжение таблицы 3.2

$\frac{x_D}{R+1}$	0.39	0.35	0.34	0.32	0.3
N	11	10	9	9	8
N(R+1)	26.07	25.90	24.39	25.38	24.40

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

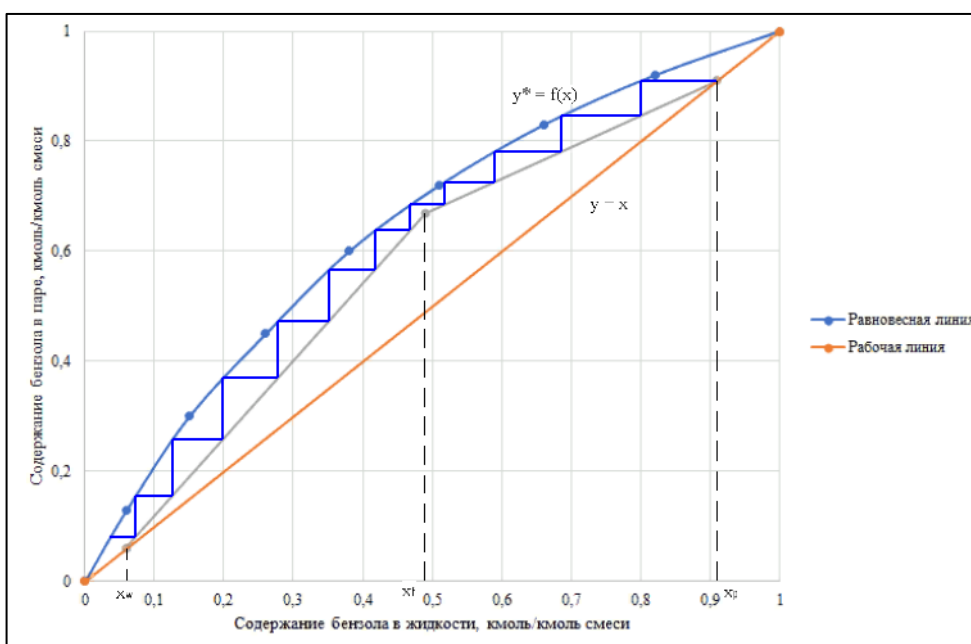


Рисунок 3.3 - Определение числа теоретических ступеней при $\beta = 0.6$

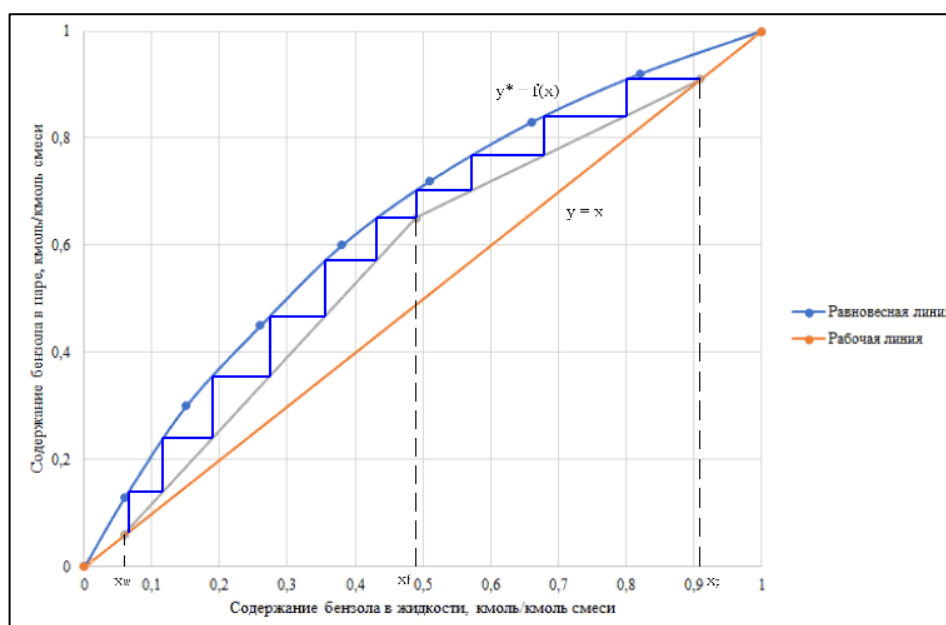


Рисунок 3.4 - Определение числа теоретических ступеней при $\beta = 0.7$

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

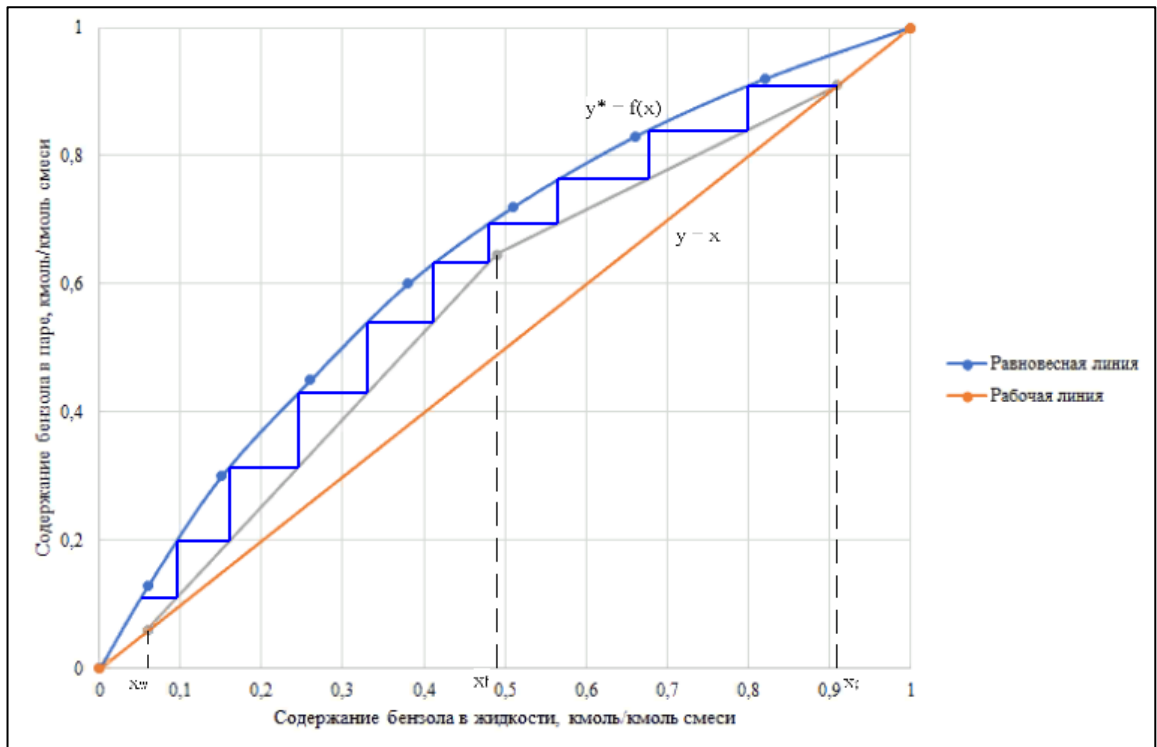


Рисунок 3.5 - Определение числа теоретических ступеней при $\beta = 0.75$

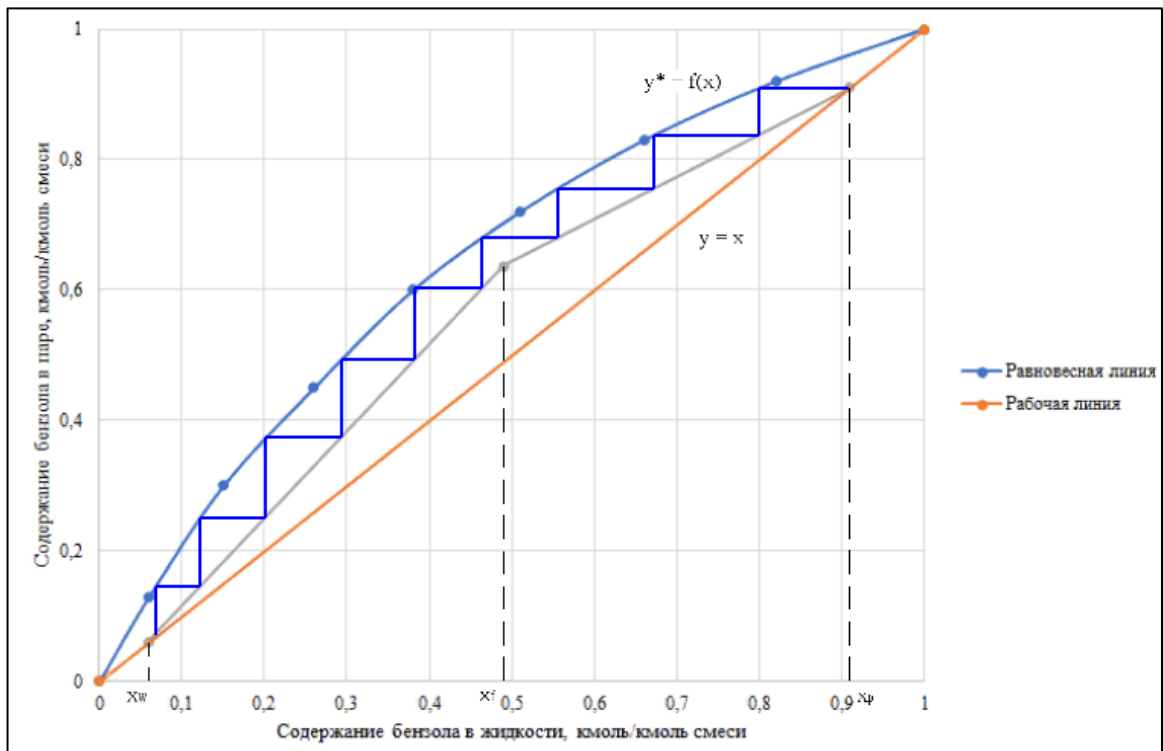


Рисунок 3.6 - Определение числа теоретических ступеней при $\beta = 0.8$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

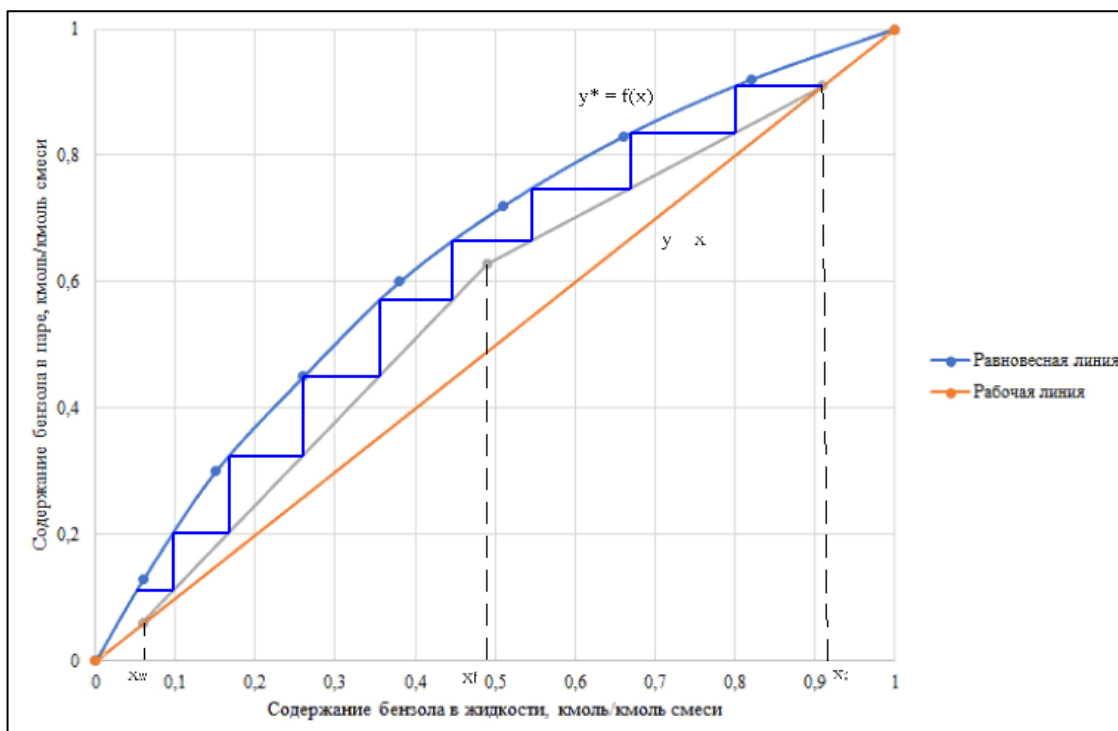


Рисунок 3.7 - Определение числа теоретических ступеней при $\beta = 0.9$

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

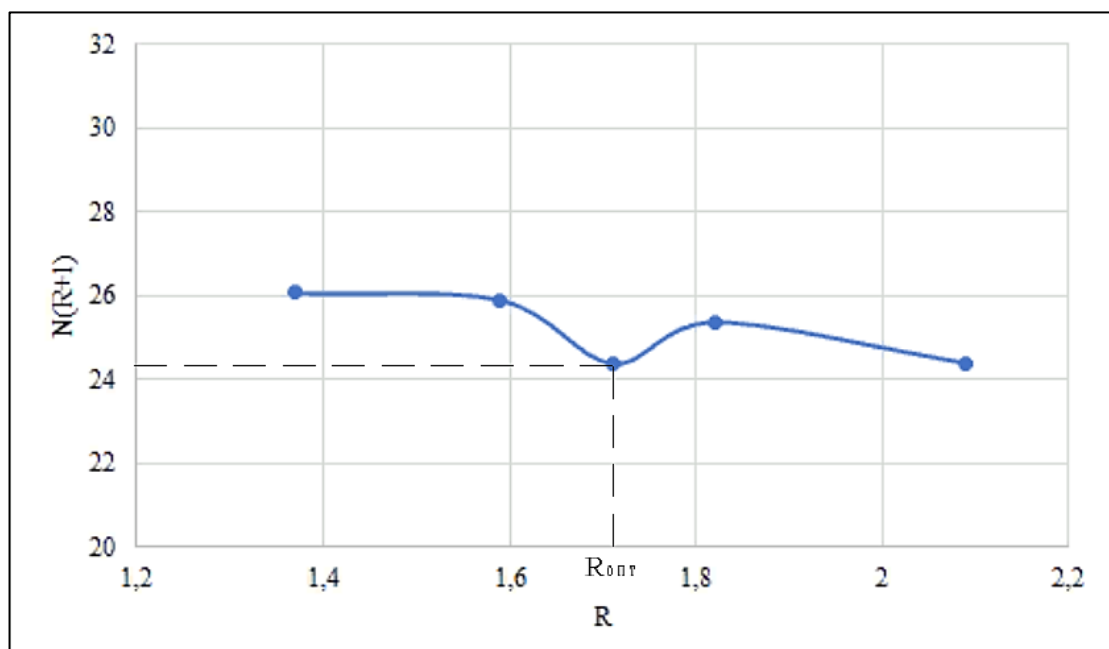


Рисунок 3.8 - Определение оптимального флегмового числа

Минимальное произведение $N(R+1)$ соответствует флегмовому числу $R=1,71$. При этом коэффициент избытка флегмы $\beta = 1,71:2,28=0,75$.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

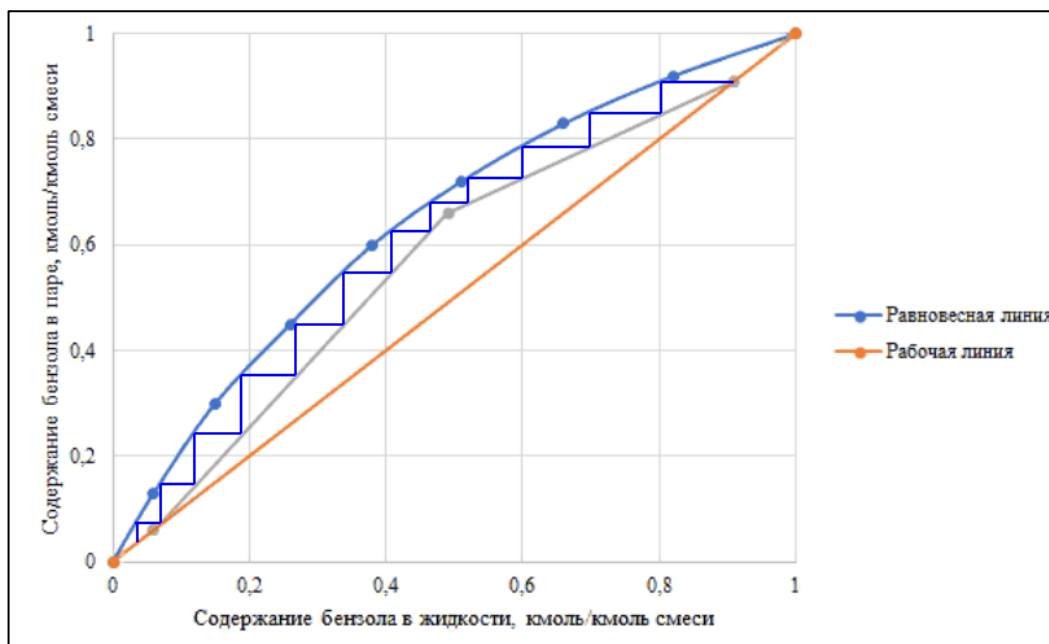


Рисунок 3.9 - Рабочая линия и количество тарелок в колонне

На рисунке 3.9 изображены рабочие линии и ступени изменения концентраций для верхней (укрепляющей) и нижней (исчерпывающей) частей колонны в соответствии с найденным значением R .

Средние массовые расходы (нагрузки) по жидкости для верхней и нижней частей колонны определяют из соотношений:

$$L_v = PRM_b/M_p \quad (3.6)$$

$$L_n = PRM_n/M_p + FM/MF \quad (3.7)$$

где M_p и M_F — мольные массы дистиллята и исходной смеси; M_b и M_n — средние мольные массы жидкости в верхней и нижней частях колонны.

Мольную массу дистиллята в данном случае можно принять равной мольной массе легколетучего компонента — бензола. Средние мольные массы жидкости в верхней и нижней частях колонны соответственно равны:

$$M_b = M_b X_{ср.в} + M_T (1 - X_{ср.в}) \quad (3.8)$$

$$M_n = M_b X_{ср.н} + M_T (1 - X_{ср.н}) \quad (3.9)$$

где M_b и M_T - мольные массы бензола и толуола;

$X_{ср.в}$ и $X_{ср.н}$ - средний мольный состав жидкости соответственно в верхней и нижней частях колонны:

$$X_{ср.в} = (X_p + x_F)/2 = (0.914 + 0.491)/2 = 0.703 \text{ кмоль/кмоль смеси};$$

$$X_{ср.н} = (x_F + x_w)/2 = (0.491 + 0.058)/2 = 0.275 \text{ кмоль/кмоль смеси}.$$

Тогда:

$$M_b = 78 \cdot 0.703 + 92 \cdot (1 - 0.703) = 82.16 \text{ кг/кмоль};$$

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

$$M_H = 78 \cdot 0.275 + 92 \cdot (1 - 0.275) = 88.15 \text{ кг/кмоль.}$$

Мольная масса исходной смеси:

$$M_f = 78 \cdot 0.491 + 92 \cdot (1 - 0.491) = 85.13 \text{ кг/кмоль.} \quad (3.10)$$

Подставим рассчитанные величины и получим:

$$L_B = 1.198 \cdot 1.71 \cdot 82.16 / 78 = 2.16 \text{ кг/с;}$$

$$L_H = (1.71 \cdot 1.198 \cdot 88.15 / 78) / (2.546 \cdot 88.15 / 85.13) = 4.95 \text{ кг/с.}$$

Средние массовые потоки пара в верхней G_B и нижней G_H частях колонны соответственно равны:

$$G_B = P(R+1)M'_B/M_p \quad (3.11)$$

$$G_H = P(R+1)M'_H/M_p \quad (3.12)$$

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

$$M'_B = M_{\text{б.ср.в.}} + M_T(1 - \text{уср.в.})$$

$$M'_H = M_{\text{б.ср.н.}} + M_T(1 - \text{уср.н.})$$

где

$$\text{уср.в.} = (yP + yF) / 2 = (0.96 + 0.62) / 2 = 0.79 \text{ кмоль/кмоль смеси;}$$

$$\text{уср.н.} = (yF + yW) / 2 = (0.62 + 0.15) / 2 = 0.38 \text{ кмоль/кмоль смеси.}$$

Тогда

$$M'_B = 78 \cdot 0.79 + 92 \cdot (1 - 0.79) = 80.94 \text{ кг/кмоль;}$$

$$M'_H = 78 \cdot 0.38 + 92 \cdot (1 - 0.38) = 86.68 \text{ кг/кмоль.}$$

Подставив численные значения в уравнение, получим:

$$G_B = 1.198 \cdot (1.71 + 1) \cdot 80.94 / 78 = 3.37 \text{ кг/с;}$$

$$G_H = 1.198 \cdot (1.71 + 1) \cdot 86.68 / 78 = 3.61 \text{ кг/с.}$$

3.4 Определение скорости пара и диаметра колонны

Выбор рабочей скорости паров обусловлен многими факторами и обычно осуществляется путем технико-экономического расчета для каждого конкретного процесса.

Найдем плотности жидкости $\rho_{xв}$, $\rho_{xн}$ и пара $\rho_{ув}$, $\rho_{ун}$ в верхней и нижней частях колонны при средних температурах в них $t_{в}$ и $t_{н}$. Средние температуры паров определим по диаграмме $t - x, y$ (см. Рис.) по средним составам фаз: $t_{в} = 89.5^\circ\text{C}$; $t_{н} = 110^\circ\text{C}$. Тогда:

$$\rho_{ув} = \frac{M'_B T_0}{22.4(T_0 + t_{в})} = \frac{80.94 \cdot 273}{22.4(273 + 89.5)} = 2.72 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (3.13)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

24

$$\rho_{уh} = \frac{M'_H T_0}{22.4(T_0 + t_h)} = \frac{86.68 \cdot 273}{22.4(273 + 110)} = 2.77 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (3.14)$$

Плотность физических смесей жидкостей подчиняется закону аддитивности:

$$\rho_{см} = \rho_1 \text{хоб} + \rho_2(1 - \text{хоб}) \quad (3.15)$$

где хоб — объемная доля компонента в смеси.

В рассматриваемом примере плотности жидких бензола и толуола близки, поэтому можно принять $\rho_{хв} = \rho_{хн} = \rho_x = 796 \text{ кг/м}^3$.

Вязкость жидких смесей μ_x находим по уравнению [1]:

$$\lg \mu_x = x_{сп} \lg \mu_{хб} + (1 - x_{сп}) \lg \mu_{хТ} \quad (3.16)$$

где $\mu_{хб}$ и $\mu_{хТ}$ — вязкости жидких бензола и толуола при температуре смеси.

Тогда вязкость жидкости в верхней и нижней частях колонны соответственно равна:

$$\begin{aligned} \lg \mu_{хв} &= 0.703 \lg 0.3 + (1 - 0.703) \lg 0.28; \\ \lg \mu_{хн} &= 0.275 \lg 0.24 + (1 - 0.275) \lg 0.26, \end{aligned}$$

откуда

$$\mu_{хв} = 0.294 \text{ мПа} \cdot \text{с}; \quad \mu_{хн} = 0.254 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

По данным [5] принимаем расстояние между тарелками $h = 600 \text{ мм}$. Для колпачковых тарелок по графику находим $C = 0,071$ [2].

Скорость пара в колонне по уравнению:

$$\omega = C \sqrt{\frac{\rho_x}{\rho_y}} \quad (3.17)$$

$$\omega = 0,071 \sqrt{796/2.745} = 1.21 \text{ м/с}$$

Объемный расход проходящего через колонну пара при средней температуре в колонне $t_{сп} = (89.5 + 110)/2 = 96 \text{ }^\circ\text{C}$

$$V = \frac{G(R + 1)22.4T_{св}P_0}{M_d T_0 P} = \frac{2.546(1.71 + 1)22.4 \cdot 369 \cdot 1.033}{76.63 \cdot 273 \cdot 1} = 2.82 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (3.18)$$

где M_d — мольная масса дистиллята, равна:

$$M_d = x_{рМб} + x_{вМт} = 0.914 \cdot 78 + 0.058 \cdot 92 = 76.63 \text{ кг/кмоль}.$$

$$D = \sqrt{\frac{V}{0.785\omega}} = \sqrt{\frac{2.82}{0.785 \cdot 1.21}} = 1.72 \text{ м} \quad (3.19)$$

По [5] принимаем диаметр колонны равным $D = 1800 \text{ мм}$, тогда скорость пара в колонне будет:

$$\omega = \frac{V}{0.785D^2} = \frac{2.82}{0.785 \cdot 1.8^2} = 1.11 \text{ м/с}$$

По [3] для колонны диаметром 1800 мм выбираем колпачковую однопоточную

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

тарелку ТСК-Р со следующими конструктивными размерами:

Таблица 3.3 – Конструктивные размеры тарелки типа ТСК-Р

Свободное сечение колонны, м ²	2.54
Длина линии барботажа, м	25.8
Периметр слива Lc, м	1.42
Сечение перелива, м ²	0.33
Свободное сечение тарелки, м ²	0.27
Относительная площадь для прохода пара, %	10.7
Масса, кг	146

Высота светлого слоя жидкости на тарелке и паросодержание барботажного слоя.

Высоту светлого слоя жидкости на тарелке h_0 находят по уравнению:

$$h_0 = 0.0419 + 0.19h_{\text{пер}} - 0.0135\omega\sqrt{\rho_y} + 2.46q \quad (3.20)$$

где $h_{\text{пер}}$ — высота переливной перегородки, м; q — линейная плотность орошения, м³/(м·с), равная $q = Q/Lc$; Q — объемный расход жидкости, м³/с; Lc — периметр слива (ширина переливной перегородки), м.

$$h_{\text{пер}} = 0.03 \text{ м};$$

Для верхней части колонны:

$$Q = 0.002 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$h_0 = 0.0419 + 0.19 \cdot 0.03 - 0,0135 \cdot 1.11 \cdot \sqrt{2.72} + 2,46 \cdot 0.0014 = 0.026 \text{ м}$$

$$q_v = Q/Lc = 0.002/1.419 = 0.0014 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{с}) \quad (3.21)$$

Для нижней части колонны:

$$Q = 0.005 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$h_0 = 0.0419 + 0.19 \cdot 0.03 - 0.0135 \cdot 1.11 \cdot \sqrt{2.72} + 2.46 \cdot 0.0035 = 0.032 \text{ м}$$

$$q_v = q/Lc = 0.005/1.419 = 0.0035 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{с});$$

Паросодержание барботажного слоя ε :

$$\varepsilon = \sqrt{Fr}/(1 + \sqrt{Fr}) \quad (3.22)$$

$$Fr = \frac{\omega^2}{gh_0} \quad (3.23)$$

Для верхней части колонны:

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

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

26

$$Fr_v = 1,11^2 / (9,8 * 0,026) = 4,83$$

$$\varepsilon_v = \sqrt{4,83} / (1 + \sqrt{4,83}) = 0,69$$

Для нижней части колонны:

$$Fr_H = 1,11^2 / (9,8 * 0,032) = 3,93$$

$$\varepsilon_H = \sqrt{3,93} / (1 + \sqrt{3,93}) = 0,66$$

Коэффициенты массопередачи и высота колонны.

Для расчета β_x и β_y необходимо определить вязкость паров и коэффициенты диффузии в жидкой D_x и D_y паровой фазах. Вязкость паров для верхней части колонны:

$$\mu_{yB} = \frac{M_B}{\frac{y_B M_B}{\mu_B} + \frac{(1 - y_B) M_m}{\mu_m}} \quad (3.24)$$

где μ_{xB} и μ_{xm} - вязкость паров бензола и толуола при средней температуре верхней части колонны, мПа·с; y_B - средняя концентрация паров:

$$y_B = (y_P + y_F) / 2 \quad (3.25)$$

Подставив, получим:

$$y_B = (0,96 + 0,71) / 2 = 0,835$$

$$\mu_{yB} = \frac{80,94}{\frac{0,835 \cdot 78}{0,0092} + (1 - 0,835)92/0,0085} = 0,0091 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

Аналогичным расчетом для нижней части колонны находим $\mu_{yH} = 0,0092 \text{ мПа} \cdot \text{с}$. Вязкости паров μ_{yB} и μ_{yH} близки, поэтому можно принять среднюю вязкость паров в колонне $\mu_y = 0,00915 \text{ мПа} \cdot \text{с}$.

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

$$D_{x20} = D_{x20} [1 + b(t - 20)] \quad (3.26)$$

Коэффициенты диффузии в жидкости D_{x20} при 20°С можно вычислить по приближенной формуле:

$$D_{x20} = \frac{10^{-6} \sqrt{1/M_B + 1/M_m}}{AB \sqrt{\mu_x (v_B^{1/3} + v_m^{1/3})^2}} \quad (3.27)$$

где А, В - коэффициенты, зависящие от свойств растворенного вещества и растворителя; v_B и v_m - мольные объемы компонентов в жидком состоянии при температуре кипения, см³/моль; μ_x - вязкость жидкости при 20°С, мПа·с.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$D_{x20} = \frac{10^{-6} \sqrt{1/78 + 1/92}}{1 * 1 * \sqrt{0,63(96^{1/3} + 118,2^{1/3})^2}} = 2,15 * 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Температурный коэффициент b определяем по формуле:

$$b = 0,2 \sqrt{\mu x} \sqrt[3]{\rho x} \quad (3.28)$$

где μx и ρx принимаются при температуре 20°C. Тогда

$$b = 0,2 \sqrt{0,63} \sqrt[3]{796} = 0,017$$

Отсюда

$$D_{xв} = 2,15 \cdot 10^{-9} [1 + 0,017(89 - 20)] = 4,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Аналогично для нижней части колонны находим:

$$D_{xн} = 5,7 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Коэффициент диффузии в паровой фазе может быть вычислен по уравнению

$$D_y = \frac{4,22 * 10^{-2} T^{3/2}}{P(v^{1/3} + v^{1/3})^2} \sqrt{1/Mб + 1/Mm} \quad (3.29)$$

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

Тогда для верхней части колонны

$$D_{yв} = \frac{4,22 \cdot 0,01 \cdot (273 + 89)^{3/2}}{10^5 \cdot (96^{1/3} + 118,2^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{78} + \frac{1}{92}} = 5,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Аналогично для нижней части колонны получим:

$$D_{yн} = 5,09 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Рассчитав коэффициенты молекулярной диффузии в жидкой и паровой фазах, вычисляем коэффициенты массоотдачи по формулам:

$$\beta_{xf} = 6,24 * 10^5 D_x^{0,5} \left(\frac{U}{1 - \varepsilon}\right)^{0,5} \text{ho} \left(\frac{\mu y}{\mu x + \mu y}\right)^{0,5} \quad (3.30)$$

$$\beta_{yf} = 6,24 * 10^5 F_c D_y^{0,5} \left(\frac{\omega}{\varepsilon}\right)^{0,5} \text{ho} \left(\frac{\mu y}{\mu x + \mu y}\right)^{0,5} \quad (3.31)$$

Для верхней части колонны:

коэффициент массоотдачи в жидкой фазе:

$$\beta_{xf} = 6,24 * 10^5 (4,6 * 10^{-9})^{0,5} \left(\frac{1,62}{(1 - 0,69)796 * 2,294}\right)^{0,5} * 0,026 \left(\frac{0,0091}{0,294 + 0,0091}\right)^{0,5} = 0,0102 \text{ м/с}$$

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

коэффициент массоотдачи в паровой фазе:

$$\beta_{xf} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot 0,62(5,06 \cdot 10^{-6})^{0,5} \left(\frac{1,11}{0,69}\right)^{0,5} \cdot 0,026 \left(\frac{0,0091}{0,294 + 0,0091}\right)^{0,5} = 4,98 \text{ м/с}$$

Для нижней части колонны:

коэффициент массоотдачи в жидкой фазе:

$$\beta_{xf} = 6,24 \cdot 10^5 (5,7 \cdot 10^{-9})^{0,5} \left(\frac{1,62}{(1-0,66)796 \cdot 2,294}\right)^{0,5} \cdot 0,032 \left(\frac{0,0092}{0,254 + 0,0092}\right)^{0,5} = 0,0144 \text{ м/с}$$

коэффициент массоотдачи в паровой фазе:

$$\beta_{xf} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot 0,62(5,09 \cdot 10^{-6})^{0,5} \left(\frac{1,11}{0,66}\right)^{0,5} \cdot 0,032 \left(\frac{0,0092}{0,254 + 0,0092}\right)^{0,5} = 6,77 \text{ м/с}$$

Пересчитаем коэффициенты массоотдачи на кмоль/(м²·с):

для верхней части колонны

$$\beta_{xf} = 0.0102 \rho_x / M_v = 0.0102 \cdot 796 / 82.16 = 0.098 \text{ кмоль/(м}^2 \cdot \text{с)}$$

$$\beta_{yf} = 4.98 \rho_{yv} / M'_v = 4.98 \cdot 2.72 / 80.94 = 0.167 \text{ кмоль/(м}^2 \cdot \text{с)}$$

для нижней части колонны

$$\beta_{xf} = 0.0144 \rho_x / M_n = 0.0144 \cdot 796 / 88.15 = 0.130 \text{ кмоль/(м}^2 \cdot \text{с)}$$

$$\beta_{yf} = 6.77 \rho_{yn} / M'_n = 6.77 \cdot 2.77 / 86.68 = 0.216 \text{ кмоль/(м}^2 \cdot \text{с)}$$

Локальная эффективность E_u связана с общим числом единиц переноса по паровой фазе на тарелке по следующему соотношению:

$$E_u = 1 - e^{-\text{поу}} \quad (3.32)$$

где $\text{поу} = K_{yf} M' / (\omega \rho_u)$

Здесь K_{yf} - в кмоль/(м²·с); M' - средняя мольная масса паров, в кг/кмоль.

Коэффициент K_{yf} определяют по уравнению аддитивности фазовых диффузионных сопротивлений:

$$K_{yf} = \frac{1}{1/\beta_{yf} + m/\beta_{xf}} \quad (3.33)$$

где β_{xf} и β_{yf} — коэффициенты массоотдачи, отнесенные к единице рабочей площади тарелки соответственно для жидкой и паровой фаз, кмоль/(м²·с).

Рассчитаем координаты точек кинетической кривой по методу Мэрфи.

Пусть $x=0.51$. Коэффициент распределения компонента по фазам (тангенс угла наклона равновесной линии в этой точке) $t = 0.87$. Коэффициент массопередачи K_{yf} вычисляем по коэффициентам массоотдачи и верхней части колонны:

$$K_{yf} = 1 / (1/0.207 + 0.87/0.1085) = 0.079 \text{ кмоль/(м}^2 \cdot \text{с)}$$

Общее число единиц переноса на тарелку поу:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

29

$$\rho_{0y} = (0.079 \cdot 80.94) / (1.11 \cdot 2.72) = 2.118$$

Локальная эффективность равна:

$$E_y = 1 - 2.72 - 2.118 = 0.879.$$

Для определения эффективности по Мэрффри E_{mu} необходимо рассчитать также фактор массопередачи k , долю байпасирующей жидкости θ , число ячеек полного перемешивания S и межтарельчатый унос e .

Фактор массопередачи для верхней части колонны:

$$\lambda = m(R+1) R = 0.87(1.72+1)/1.72 = 1.376 \quad (3.34)$$

Долю байпасирующей жидкости θ для различных конструкций тарелок можно найти в монографии. Для колпачковых тарелок при $F=0.88$ принимаем $\theta \approx 0.11$.

Число ячеек полного перемешивания S для колпачковых тарелок можно рассчитать по формуле:

$$S = 0.5Pe + 1 \quad (3.35)$$

где $Pe = Z_{ж} / (D't')$; D' - коэффициент турбулентной диффузии, m^2/c ; t' - условное время пребывания жидкости на тарелке, с; $Z_{ж}$ - длина пути жидкости по тарелке, м; dk - диаметр колпачка, м.

Коэффициент продольной турбулентной диффузии для колпачковых тарелок:

$$D' = 9,3 \cdot 10^{-2} [1 + 0,044(dk/0,025 - 3)]^2 (0,0124 + 0,056\omega + 0,003L + 0,59h_{пер})^2 \quad (3.36)$$

$$D' = 9,3 \cdot 10^{-2} [1 + 0,044(0,1/0,025 - 3)]^2 (0,0124 + 0,056 \cdot 111 + 0,00330,001 + 0,59 \cdot 0,03)^2 = 0,009352$$

Условное время пребывания жидкости на тарелке рассчитаем по уравнению:

$$t' = (Z_c Z_{ж}) / L \quad (3.37)$$

где Z_c - запас жидкости на тарелке, m^3/m^2 .

$$Z_c = 0,042 + 0,19h_{пер} - 0,0135\omega_{py} + 0,0007L \quad (3.38)$$

$$Z_c = 0,042 + 0,19 \cdot 0,03 - 0,0135 \cdot 1,11 \cdot 2,745 + 0,0007 \cdot 0,001 = 0,023 \text{ м.}$$

Длина пути жидкости по тарелке $Z_{ж} = 1,4$ м.

$$t' = (0,023 \cdot 1,4) / 0,001 = 32 \text{ с.}$$

$$Pe = 1,42 / (0,009352 \cdot 32) = 6,5$$

$$S = 0,5 \cdot 6,5 + 1 = 4,25 \approx 4.$$

Относительный унос жидкости e в тарельчатых колоннах определяется в основном скоростью пара, высотой сепарационного пространства и физическими свойствами жидкости и пара. В настоящее время нет надежных зависимостей, учитывающих влияние физических свойств потоков на унос, особенно для процессов ректификации. Для этих процессов унос можно оценить с помощью графических данных. По этим данным унос на тарелках различных конструкций является функцией комплекса $\omega/(mHc)$. Коэффициент τ ,

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

учитывающий влияние на унос физических свойств жидкости и пара, определяют по уравнению:

$$m = 1,15 * 10^{-3} (\sigma x / \rho y)^{0,295} [(\rho x - \rho y) / \mu x]^{0,425} \quad (3.39)$$

откуда

$$m = 1,15 * 10^{-3} (0,02 / 2,745)^{0,295} [(796 - 2,745) / 0,0091]^{0,425} = 0,63$$

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

$$H_c = H - h_{п} \quad (3.40)$$

где H — межтарельчатое расстояние, м; $h_{п} = h_0 / (1 - \epsilon)$ — высота барботажного слоя (пены), м.

Высота сепарационного пространства в нижней части колонны меньше, чем в верхней, поэтому определим $h_{п}$ для низа колонны:

$$h_{п} = 0,032 / (1 - 0,66) = 0,094 \text{ м.}$$

Тогда

$$H_c = 0,6 - 0,094 = 0,506; \quad \omega / (m H_c) = 1,11 / (0,638 \cdot 0,506) = 2,87.$$

При таком значении комплекса $\omega / (m H_c)$ унос $\epsilon = 0,15$ кг/кг.

Подставляя в уравнения вычисленные значения t , E_y , θ , S и ϵ , определяем

к. п. д. по Мэрфри E_{μ} :

$$B = \frac{1,376(0,879 + 0,15/0,638)}{(1 - 0,11)(1 - 0,15 * 1,376/0,638)} = 2,546 \quad (3.41)$$

$$E_{\mu} = \frac{0,879}{2,546} [(1 + 2,546/4)^4 - 1] = 2,13 \quad (3.42)$$

$$E_{\mu} = \frac{2,13}{1 + 1,376 * 0,11 * 2,13 / (1 - 0,11)} = 1,56 \quad (3.43)$$

$$E_{\mu} = \frac{1,56}{1 + 0,15 * 1,376 * 1,56 / [0,638(1 - 0,11)]} = 0,99 \quad (3.44)$$

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

$$E_{\mu} = (у_k - у_n) / (у^* - у_n) \quad (3.45)$$

где $у_n$ и $у^*$ — концентрация соответственно легколетучего компонента в паре на входе в тарелку и равновесная с жидкостью на тарелке.

Отсюда

$$у_k = 0,69 + 0,99 (0,72 - 0,69) = 0,72.$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Аналогичным образом подсчитаны u_k для других составов жидкости. Результаты расчета параметров, необходимых для построения кинетической линии, приведены ниже и на рисунке 3.6:

Таблица 3.4 - Результаты расчетов

x	0.06	0.15	0.26	0.38	0.51	0.66	0.82
m	2.22	1.54	1.25	1.11	0.87	0.65	0.54
K_{yf}	0,04	0,05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
$поу$	1.05	1.42	1.64	1.77	2.12	2.49	2.73
E_y	0.65	0.76	0.81	0.83	0.88	0.92	0.94
B	2.018	2.27	2.39	2.43	2.55	2.63	2.65
$E''_{му}$	1.32	1,68	1.86	1.94	2.13	2.29	2.36
$E'_{му}$	1.08	1.31	1.41	1.46	1.56	1.65	1.68
$E_{му}$	0.78	0.89	0.93	0.95	0.99	1.03	1.04
u_k	0.12	0.3	0.45	0.6	0.72	0.83	0.9

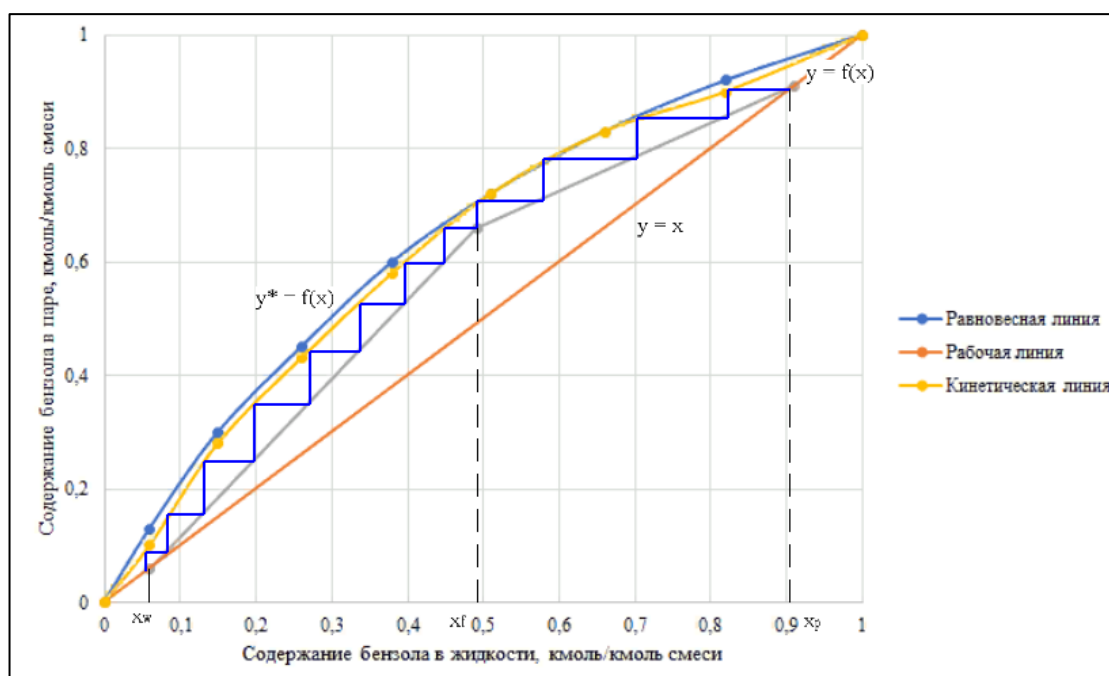


Рисунок 3.10 - Определение действительного числа тарелок

Всего тарелок 12, из них 4 для укрепляющей части, а 8 для исчерпывающей.

Высоту тарельчатой ректификационной колонны определим по формуле 6.44 [1]:

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

$$H_k = (N-1) \cdot h + z_b + z_n \quad (3.46)$$

где h – расстояние между тарелками, м;

z_b и z_n – расстояние соответственно между верхней тарелкой и крышкой колонны и между дном колонны и нижней тарелкой принимаем, исходя из рекомендаций [1], равными 1000 мм и 2000 мм соответственно;

Высота колонны равна:

$$H_k = (12-1) \cdot 0.6 + 1 + 2 = 9.6 \text{ м.}$$

В связи с малыми размерами колонны и исходя из рекомендаций [6], примем исполнение обечайки колонны без люков. Ремонт и другие технологические работы осуществлять через крышку колонны.

3.5 Расчет штуцеров и подбор фланцев

Согласно рекомендациям [4] примем скорость движения жидкости в патрубке равной $0.25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а скорость движения пара $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Расчёт штуцеров сводится к определению диаметра штуцера [7]:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0,785 \rho \omega}} \quad (3.46)$$

где G – массовый расход потока, кг/с;

ρ – плотность потока при соответствующей температуре, кг/м³;

ω – скорость потока, м/с.

По условному проходному диаметру патрубка принимаем стандартные размеры штуцера, рекомендуемые по [21].

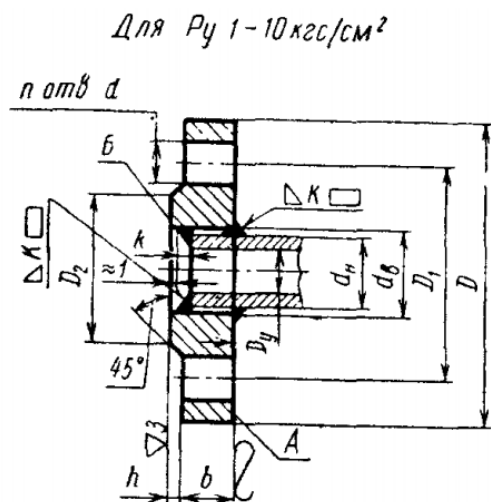


Рисунок 3.11 - Расчетная схема штуцера

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.5.1 Штуцер для ввода исходной смеси

Определим диаметр штуцера для ввода исходной смеси:

$$d = \sqrt{\frac{F}{0,785 \cdot \rho_F \cdot \omega_{ж}}} = \sqrt{\frac{6.5}{0,785 \cdot 796 \cdot 0,25 \cdot 3.6}} = 0,108 \text{ м}$$

Примаем штуцер с условным проходом $D_y = 100$ мм [21].

Оставшиеся штуцера рассчитываем аналогично полученные результаты сводим в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 - Основные размеры штуцеров

Наименование	D_y , мм	d_n , мм	D , мм	D_1 , мм	b , мм	D_2 , мм	h , мм	d , мм	n	Номинальный диаметр резьбы шпилек
Ввод исходной смеси	100	110	205	170	14	148	3	18	4	16
Ввод флегмы	100	110	205	170	14	148	3	18	4	16
Вывод жидкости из куба	100	110	205	170	14	148	3	18	4	16
Вывод паров дисстилята	350	377	485	445	22	415	3	22	12	20
Ввод паров кубовой жидкости	350	377	485	445	22	415	3	22	12	20

3.6 Определение основных размеров колпачка

Для тарелки типа ТСК-Р выбираем стандартные капсульные колпачки по ГОСТу 9634-68 с основными размерами представленной в таблице 3 и видом, представленным на рисунке 3.12 [6]:

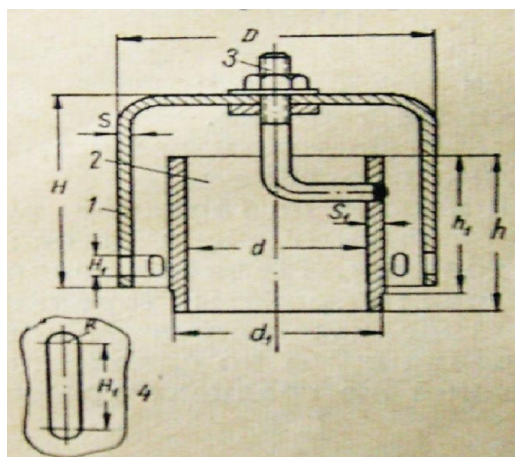


Рисунок 3.12 - Капсульный колпачок в собранном виде: 1-колпачок; 2-горловина; 3-болт; 4-прорезь

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблица 3.6 – Основные размеры капсюльного колпачка

Обозначение типоразмера	Размер колпачка, мм			Прорези		Размер патрубка парового, мм					Масса колпачка, кг
	D	H	S	количество, шт	H ₁ , мм	d	d ₁	h	h ₁	S ₁	
К-100	100	55	2	36	20	63	68	56	50	3.5	1.15

3.7 Гидравлическое сопротивление тарелок колонны

Гидравлическое сопротивление тарелок колонны определяют по формуле:

$$\Delta P_k = P_v N_v + P_n N_n \quad (3.47)$$

где P_v и P_n - гидравлическое сопротивление тарелки соответственно верхней и нижней частей колонны. Па.

Полное гидравлическое сопротивление тарелки складывается из трех слагаемых:

$$\Delta P = \Delta P_{\Pi} + \Delta P_c + \Delta P_{\sigma} \quad (3.48)$$

Гидравлическое сопротивление сухой (неорошаемой) тарелки

$$\Delta P_c = \zeta \omega^2 \rho y / (2 F c^2) \quad (3.48)$$

Значение коэффициентов сопротивления ζ сухих тарелок различных конструкций можно найти в справочниках, для колпачковых тарелок $\zeta = 4.5$.

$$\Delta P_c = 4.5 \cdot 1.112 \cdot 2.745 / (2 \cdot 0.622) = 19.8 \text{ Па.}$$

Гидравлическое сопротивление газожидкостного слоя (пены) на тарелке различно для верхней и нижней частей колонны:

$$\Delta P_{\Pi.v} = g \rho x h_{0.v} = 9.8 \cdot 796 \cdot 0.026 = 203 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\Pi.n} = g \rho x h_{0.n} = 9.8 \cdot 796 \cdot 0.032 = 249.6 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление, обусловленное силами поверхностного натяжения:

$$\Delta P_{\sigma} = 4\sigma / d_{\Sigma} = 4 \cdot 0.02 / 1.8 = 0.044 \text{ Па}$$

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

$$\Delta P_v = 19.8 + 203 + 0.044 = 222.844 \text{ Па}$$

$$\Delta P_n = 19.8 + 249.3 + 0.044 = 269.444 \text{ Па}$$

Полное гидравлическое сопротивление ректификационной колонны:

$$\Delta P_k = 223 \cdot 4 + 269 \cdot 8 = 3044 \text{ Па.}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4 Расчет тепловой изоляции

Толщину тепловой изоляции находят из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду [1]:

$$\alpha_{\text{в}} \cdot (t_{\text{ст}2} - t_{\text{в}}) = (\lambda_{\text{и}}/\delta_{\text{и}}) \cdot (t_{\text{ст}1} - t_{\text{ст}2}), \quad (4.1)$$

где $\alpha_{\text{в}} = 9,3 + 0,3058 \cdot t_{\text{ст}2}$ – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду, Вт/(м²·К);

$t_{\text{ст}2}$ – температура изоляции со стороны окружающей среды (температура определена техникой безопасности на предприятиях и равна 60°C);

$t_{\text{ст}1}$ – температура изоляции со стороны аппарата, °С;

$t_{\text{в}}$ – температура окружающей среды (воздуха), °С;

$\lambda_{\text{и}}$ – коэффициент теплопроводности изоляционного материала, Вт/(м·К).

Рассчитаем толщину тепловой изоляции:

$$\alpha_{\text{в}} = 9,3 + 0,3058 \cdot 60 = 27,648 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.2)$$

В качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит (85 % магнезии + 15 % асбеста), имеющей коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{и}} = 0,098$ Вт/(м·К). [2].

Толщина тепловой изоляции при $t = 110$ °С равна:

$$\delta_{\text{и}} = \frac{0,098 \cdot (110 - 60)}{27,648 \cdot (60 - 10)} = 0,0028 \text{ м} = 2,8 \text{ мм.}$$

По рекомендации [1,5] примем толщину тепловой изоляции равной 10 мм.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

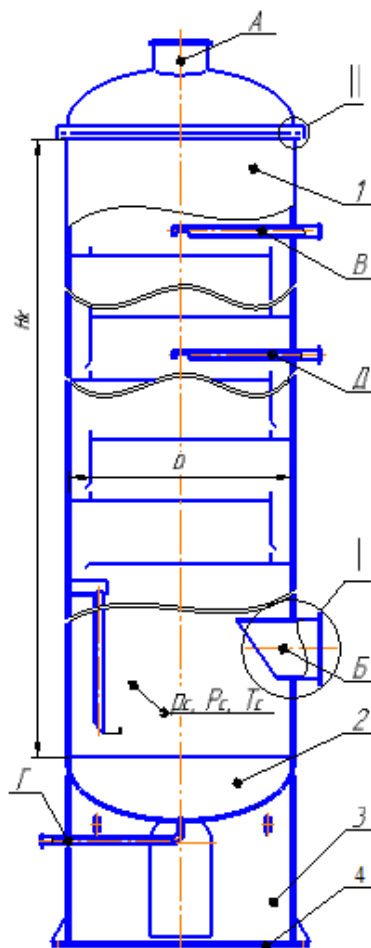
36

5 Механический расчет ректификационной колонны

Целью механического расчета является обеспечение механической надежности работы ректификационной колонны. Проводится проверка их надежности в рабочих условиях и в условиях испытаний. Данные критерии разнятся от элемента к элементу, поэтому будут предварительно описаны в каждом подпункте данного раздела.

Исходя из технологического расчета внутренний диаметр ректификационной колонны равен 1800 мм, высота колонны равна 9600 мм. Проектируемая колонна находится в здании, ввиду своих малых размеров. Также из-за своей малой высоты обечайка колонны выполняется без люков, обслуживание колонны производится через крышку [7].

На рисунке 5.1 изображена расчетная схема колпачковой ректификационной колонны с отображением основных рассчитываемых конструкций.



D – диаметр колонны, H_k – высота обечайки, p_c , P_c , T_c – нагрузки со стороны рабочей среды

Рисунок 5.1 – Расчетная схема ректификационной колонны

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

37

В таблице 5.1 приведены номера позиций и названия основных элементов ректификационной колонны.

Таблица 5.1 – Обозначения основных элементов и узлов колонны

Номер позиции	Название элемента	Количество
1	Цилиндрическая обечайка	1
2	Эллиптическое днище (крышка)	2
3	Цилиндрическая опорная обечайка	1
4	Опорный узел	1
I	Укрепление отверстия	-
II	Фланцевое соединение	-

Данные о штуцера представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Таблица штуцеров

Обозначение	Наименование	Условный диаметр, мм	Условное давление, МПа
А	Выход паров дистиллята	350	0.1
Б	Вход паров кубовой жидкости	350	0.1
В	Вход флегмы	100	0.1
Г	Выход жидкости из куба	100	0.1
Д	Вход исходной смеси	100	0.1

5.1 Выбор конструкционного материала

Исходя из рекомендаций приведенных в [5,8] принимаем конструкционный материал для всех элементов аппарата сталь 12Х18Н10Т ввиду коррозионной активности разделяемой среды. Данная сталь способна обеспечить не только высокую коррозионную стойкость колонны, но и высокие прочностные характеристики.

Крепежные изделия необходимо выполнять также из коррозионно стойкой стали, т.к. всегда существует опасность попадания электролита между крепежным изделием и

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

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

38

элементом аппарата. В связи с этим по рекомендации [5] принимаем сталь для крепежных изделий 20Х13.

В качестве материала для прокладок по рекомендации [5] принимаем паронит типа ПОН. Выбранный материал обладает высокими прочностными свойствами, а также очень дешев, что является неотъемлемым критерием при проектировании аппарата.

5.1.1 Определение расчетных параметров

Реактификационная колонна необходима для разделения бинарной смеси бензол-толуол при внутреннем избыточном давлении равном 0 МПа максимальная температура в колонне составляет 110 °С, следовательно, все параметры будут определены при расчетной температуре равной [8, 9]:

Таблица 5.3 – Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Рабочее внутреннее избыточное давление, МПа	$P_{раб} = 0$
Максимальная температура среды, °С	$t_c = 110$
Высота цилиндрической обечайки, мм	$H_k = 9600$
Диаметр цилиндрической обечайки, мм	$D = 1800$

Определим расчетную температуру [9]:

$$t_p := \max(20, t_c) = 110 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Принимаем расчетную температуру равной 110 °С.

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т при расчетной температуре определяется по таблице А.3 [9]:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad \sigma_d := \begin{pmatrix} 174 \\ 168 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_d := \text{Ceil}(\text{linterp}(t, \sigma_d, t_p), 0.5) = 173 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести при 20°С для стали 12Х18Н10Т определим по таблице Б.7 [9]:

$$R_{p1.0} := 276 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т при 20°С определяется по таблице

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

А.3 [9]:

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для стали 12Х18Н10Т при рабочей температуре определяется по таблице Ж1 [9] и равен $E = 2.15 \cdot 10^5$ МПа.

Модуль продольной упругости для стали 12Х18Н10Т при 20°C определяется по таблице Ж1 [9] и равен $E_{20} = 2.15 \cdot 10^5$ МПа.

Так как обечайка аппарата изготавливается листового проката путем его вальцевания и последующей сварки, то коэффициент прочности сварных швов по [9] принимаем равным $\varphi = 0.9$.

По рекомендации [9]: при вертикальном расположении аппарата расчетное давление принимается равным рабочему с учетом гидростатического столба жидкости. Высота куба колонны равна $h_k = 2000$ мм.

Плотность толуола равна:

$$\rho_T := 867 \text{ кг/м}^3$$

Высоту слоя жидкости в кубе принимаем равным высоте куба:

$$H_{\text{куб}} := h_k = 2000 \text{ мм}$$

Расчетное давление равно:

$$P := P_{\text{раб}} + \frac{9.81 \cdot H_{\text{куб}} \cdot \rho_T}{10^9} = 0.017 \text{ МПа} \quad (5.1)$$

В качестве проверки аппарата на способность выдержать заданные нагрузки предлагается проводить гидравлические испытания, как наиболее простые и безопасные.

Высоту слоя жидкости при гидроиспытании принимаем равным высоте цилиндрической обечайки колонны:

$$H_{\text{гидр}} := H_k = 9600 \text{ мм}$$

Плотность воды равна:

$$\rho_B := 1000 \text{ кг/м}^3$$

Давление гидростатического столба жидкости при гидроиспытании равно:

$$P_{\text{гидр}} := \frac{9.81 \cdot H_{\text{гидр}} \cdot \rho_B}{10^9} = 0.094 \text{ МПа} \quad (5.2)$$

Согласно [7] гидроиспытания колонны проводятся под налив, поэтому давление

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

гидроиспытания равно:

$$P_{\text{н}} := 1.25 \cdot P_{\text{раб}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_{\text{д}}} + P_{\text{гидр}} = 0.094 \text{ МПа} \quad (5.3)$$

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т при температуре гидравлического испытания 20°C определяется по формуле 5 [9]:

$$\sigma_{\text{н}} := \text{Ceil} \left(\frac{R_{\text{p}1.0}}{1.1}, 0.5 \right) = 251 \text{ МПа}$$

5.1.2 Определение прибавок к расчетным толщинам стенок

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют согласно [9] по формуле 13:

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

где c_1 - прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;
 c_2 - прибавка для компенсации минусового допуска, мм;
 c_3 - прибавка для компенсации утонения стенки при технологических операциях, мм.

Определим прибавки к расчетной толщине стенки:

Прибавка для компенсации коррозии:

Примем срок службы аппарата $\tau = 10$ лет.

Скорость коррозии для стали 12Х18Н10Т по [5] равна $K = 0.1$ мм/год.

$$c_1 := \tau \cdot K = 1 \text{ мм} \quad (5.4)$$

Прибавку для компенсации минусового допуска примем в соответствии с таблицей 3 [10] $c_2 = 0.8$ мм.

Поскольку обечайка аппарата выполнена из листового проката, то в соответствии с [7] прибавку для компенсации утонения стенки при технологических операциях примем $c_3 = 0.2$ мм.

Суммарная прибавка к расчетным толщинам равна:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 2 \text{ мм} \quad (5.5)$$

5.2 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки колонны

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

Критерием надежности для рабочих условий является выполнение следующего

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

условия:

$$P \leq P_d$$

где P – расчетное значение внутреннего избыточного давления при рабочих условиях, МПа; P_d – допускаемое значение внутреннего избыточного давления при рабочих условиях, МПа [10].

$$F \leq F_d$$

где F – расчетное значение осевого сжимающего усилия при рабочих условиях, МН; F_d – допускаемое значение осевого сжимающего усилия при рабочих условиях, МН [10].

Критерием надежности для условий испытания является выполнение условия:

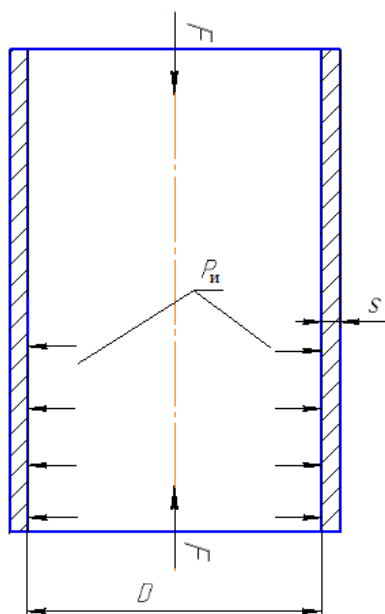
$$P_{и} \leq P_{ди}$$

где $P_{и}$ – расчетное значение внутреннего избыточного давления при гидроиспытаниях, МПа; $P_{ди}$ – допускаемое значение внутреннего избыточного давления при гидроиспытаниях, МПа [10].

$$F_{и} \leq F_{ди}$$

где $F_{и}$ – расчетное значение осевого сжимающего усилия при гидроиспытаниях, МН; $F_{ди}$ – допускаемое значение осевого сжимающего усилия при гидроиспытаниях, МН [10].

На рисунке 5.2 представлена расчетная схема цилиндрической обечайки, позиция 1 на рисунке 5.1.



F – осевое сжимающее усилие, $P_{и}$ – внутреннее избыточное давление гидроиспытания

Рисунок 5.2 - Расчетная схема цилиндрической обечайки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

42

Таблица 5.4 – Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Внутренний диаметр обечайки, мм	$D = 1800$
Прибавка к расчетным толщинам, мм	$c = 2$
Расчетное внутреннее избыточное давление, МПа	$P = 0.017$
Давление гидроиспытания, МПа	$P_{и} = 0.094$
Коэффициент прочности сварных швов	$\varphi = 0.9$
Допускаемое напряжение при рабочих условиях, МПа	$\sigma_{д} = 173$
Допускаемое напряжение при гидроиспытаниях, МПа	$\sigma_{и} = 251$

5.2.1 Определение исполнительной толщины обечайки колонны

Исполнительную толщину стенки обечайки вычисляют по формуле 1 [10]:

$$s \geq s_p + c$$

где s - исполнительная толщина стенки, мм;
 s_p - расчетная толщина стенки, мм;
 c - прибавка к расчетным толщинам, мм

Расчетную толщину стенки обечайки вычисляют исходя из рабочих условий и условий гидроиспытания [10]:

$$s_p = \max \left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \varphi - P}, \frac{P_{и} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi - P_{и}} \right) \quad (5.6)$$

где $P, P_{и}$ - расчетное давление и пробное давление гидроиспытания соответственно, МПа; D - внутренни диаметр обечайки, мм; $\sigma_{д}, \sigma_{и}$ - допускаемые напряжения материала при рабочих условий и условий гидроиспытания соответственно, МПа; φ - коэффициент прочности сварных швов.

$$s_p := \max \left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \varphi - P}, \frac{P_{и} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi - P_{и}} \right) = 0.375 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок составляет:

$$c_{\Sigma} := c_1 + c_2 + c_3 = 2 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки обечайки исходя из рекомендаций [11] равной $s = 10$ мм.

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

5.2.3 Проверка условий прочности цилиндрической обечайки

Так как полученное значение исполнительной толщины стенки цилиндрической обечайки должно обеспечивать надежность конструкции аппарата, то производим проверку условий прочности при рабочих условиях и условиях гидроиспытаний.

Допускаемое внутреннее избыточное давление для рабочих условий вычисляется по формуле 3 [10]:

$$P_d := 2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi \cdot \frac{(s - c)}{[D + (s - c)]} = 1.127 \text{ МПа}$$

Аналогично рассчитывается давления для гидроиспытаний:

$$P_{ди} := 2 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi \cdot \frac{(s - c)}{[D + (s - c)]} = 1.626 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности при рабочих условиях:

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{P}{P_d} \leq 1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_2 = \text{"Условие прочности выполняется"} \quad \frac{P}{P_d} = 0.015$$

Проверка условия прочности при условиях гидроиспытания:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{P_{и}}{P_{ди}} \leq 1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_3 = \text{"Условие прочности выполняется"} \quad \frac{P_{и}}{P_{ди}} = 0.058$$

5.2.4 Проверка условий устойчивости цилиндрической обечайки

Допускаемое сжимающее усилие определяется по формуле 14 [10]:

$$F_d = \frac{F_{п}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{п}}{F_E}\right)^2}} \quad (5.7)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

При рабочих условиях:

$$n_y := 2.4$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности по формуле 15 [10]:

$$F_{\Pi} := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\Pi} \cdot \varphi \cdot 10^{-6} = 5.777 \text{ МН} \quad (5.8)$$

Определим F_E по формулам 16-18 [10]:

$$F_E = \min(F_{E1}, F_{E2})$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости по формуле 16 [10]:

$$F_{E1} := \frac{(31 \cdot 10^{-5} \cdot E) \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s-c)}{D}\right]^{2.5} \cdot 10^{-6}}{n_y} = 7.051 \text{ МН} \quad (5.9)$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости по формуле 18 [10]:

$$F_{E2} := \frac{\pi}{n_y} \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E \cdot \left(\frac{\pi}{2.83 \cdot \frac{2 \cdot H_k}{D + s - c}}\right)^2 \cdot 10^{-6} = 36.052 \text{ МН} \quad (5.10)$$

Тогда F_E равно:

$$F_E := \min(F_{E1}, F_{E2}) = 7.051 \text{ МН}$$

Допускаемое сжимающее усилие при рабочих условиях равно:

$$F_{\Pi} := \frac{F_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\Pi}}{F_E}\right)^2}} = 4.469 \text{ МПа} \quad (5.11)$$

Расчетное значение сжимающего определяется по следующей формуле:

$$F = 1.3(m_{об} + m_k + 12m_T) \cdot g \quad (5.12)$$

Масса обечайки равна:

Масса обечайки рассчитывается по формуле:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$m_{об} = \rho_{об} \cdot V_{об}$, где $V_{об}$ - объем материала обечайки

$\rho_{об}$ - плотность материала обечайки (сталь 12X18H10T)

$$\rho_{об} := 7850 \text{ кг/м}^3$$

$$m_{об} := \rho_{об} \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot [(D + 2 \cdot s)^2 - D^2] \cdot H_k \right] \cdot 10^{-9} = 4285 \text{ кг} \quad (5.13)$$

Масса крышки:

Согласно таблицы 16.3 [12] масса днища 1800-10-ГОСТ 6533-78 равна $m_k = 297,4$ кг.

Масса тарелки равна $m_T = 112$ кг.

Расчетное значение сжимающего усилия равно:

$$F_{\text{сж}} := 1.3(m_{об} + m_k + 12 \cdot m_T) \cdot g \cdot 10^{-6} = 0.075 \text{ МН} \quad (5.14)$$

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{F}{F_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_3 = \text{"Условие устойчивости выполняется"} \quad \frac{F}{F_d} = 0.017$$

При условиях гидроиспытаний:

$$n_y := 1.8$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности по формуле 15 [10]:

$$F_{\text{ши}} := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\text{ш}} \cdot \varphi \cdot 10^{-6} = 8.333 \text{ МН}$$

Определим $F_{\text{Еи}}$ по формулам 16-18 [10]:

$$F_{\text{Еи}} = \min(F_{\text{Еи1}}, F_{\text{Еи2}})$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости по формуле 16 [10]:

$$F_{\text{Еи1}} := \frac{(31 \cdot 10^{-5} \cdot E) \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s - c)}{D} \right]^{2.5} \cdot 10^{-6}}{n_y} = 9.401 \text{ МН}$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

46

устойчивости по формуле 18 [10]:

$$F_{E2и} := \frac{\pi}{n_y} \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E \cdot \left(\frac{\pi}{2.83 \cdot \frac{2 \cdot H_k}{D + s - c}} \right)^2 \cdot 10^{-6} = 48.069 \text{ МН}$$

Тогда $F_{Eи}$ равно:

$$F_{Eи} := \min(F_{E1и}, F_{E2и}) = 9.401 \text{ МН}$$

Допускаемое сжимающее усилие при рабочих условиях равно:

$$F_{ди} := \frac{F_{ши}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{ши}}{F_{Eи}} \right)^2}} = 6.236 \text{ МПа}$$

Расчетное значение сжимающего усилия определяется по следующей формуле:

$$F_{и} = [1.3(m_{об} + m_k + 12m_T) + m_{вод}] \cdot g$$

Масса обечайки равна:

$$m_{об} = 4.238 \times 10^3 \text{ кг}$$

Масса одной крышки:

$$m_k = 297.4 \text{ кг}$$

Масса тарелки равна:

$$m_T = 112 \text{ кг}$$

Рассчитаем также массу воды в обечайке аппарата:

$$m_{вод} := \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_k \cdot \rho_B \cdot 10^{-9} = 2.443 \times 10^4 \text{ кг}$$

Расчетное значение сжимающего усилия равно:

$$F_{и} := [1.3(m_{об} + m_k + 12m_T) + m_{вод}] \cdot g \cdot 10^{-6} = 0.315 \text{ МН}$$

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{F_{и}}{F_{ди}} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_3 = \text{"Условие устойчивости выполняется"} \quad \frac{F_{и}}{F_{ди}} = 0.05$$

Из представленных выше расчетов видно, что принятая толщина стенки обечайки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

в 10 мм избыточна, однако исходя из опыта эксплуатации колонных аппаратов и рекомендаций [5, 11] данная толщина оправдана.

5.3 Расчёт толщины стенки эллиптической крышки (днища)

Критерием надежности для рабочих условий является выполнение следующего условия:

$$P \leq P_{д.к}$$

где P – расчетное значение внутреннего избыточного давления при рабочих условиях, МПа; $P_{д}$ – допускаемое значение внутреннего избыточного давления при рабочих условиях, МПа [10].

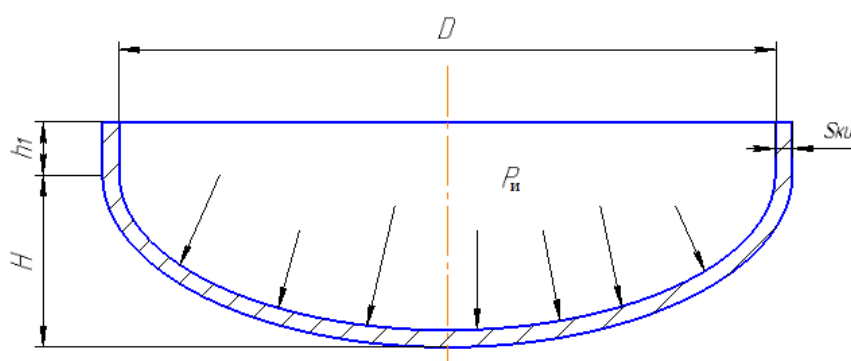
Критерием надежности для условий испытания является выполнение условия:

$$P_{и} \leq P_{и.к}$$

где $P_{и}$ – расчетное значение внутреннего избыточного давления при гидроиспытаниях, МПа; $P_{и.к}$ – допускаемое значение внутреннего избыточного давления при гидроиспытаниях, МПа [10].

В колонных аппаратах, ввиду их высоты, на днище будет приходиться большая нагрузка, чем на крышку, поэтому следует рассчитать толщину стенки днища, а крышку принять такой же как днище.

На рисунке 5.3 представлена расчетная схема эллиптического днища, позиция 2 на рисунке 5.1.



D – диаметр крышки, H – высота эллиптической части крышки, $s_{ки}$ – исполнительная толщина крышки, h_1 – высота цилиндрической части крышки; $P_{и}$ – внутреннее избыточное давление гидроиспытания

Рисунок 5.3 – Расчетная схема эллиптического днища

Целью данного расчета является определение толщины стенки днища. Для

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

удешевления производства колонны параметры крышки будут такие же, как и параметры днища.

Определим радиус кривизны в вершине крышки по [10], он равен $R = D = 1800$ мм, т.к. $H = 0.25D$.

$$\underline{H} := 0.25 \cdot D = 450 \text{ мм} \quad (5.15)$$

Расчетную толщину стенки днища вычисляют исходя из рабочих условий и условий гидроиспытания по формуле 43 [10]:

$$s_{к.р} := \max\left(\frac{R \cdot P}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_d - 0.5 \cdot P}, \frac{R \cdot P_{и}}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и} - 0.5 \cdot P_{и}}\right) = 0.375 \text{ мм} \quad (5.16a)$$

Исполнительная толщина стенки эллиптического днища определяется по формуле 42 [10]:

$$s_{к.и} := s_{к.р} + c = 2.375 \text{ мм} \quad (5.16b)$$

Исходя из сортамента [12] и рекомендаций [11] принимаем толщину днища равной $s_{ки} = 10$ мм.

Проверка на условие применимости формул

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.2 \leq \frac{H}{D} \leq 0.5 \\ \text{"Условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

$$\underline{U}_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_{к.и} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Допускаемое избыточное давление из условия прочности вычисляют по формуле 44 [10]:

Для рабочих условий:

$$P_{д.к} := \frac{2 \cdot (s_{к.и} - c) \cdot \sigma_d \cdot \varphi}{R + 0.5 \cdot (s_{к.и} - c)} = 1.129 \text{ МПа} \quad (5.17a)$$

Для гидраиспытания:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$R_{и.к} := \frac{2 \cdot (s_{к.и} - c) \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi}{R + 0.5 \cdot (s_{к.и} - c)} = 1.629 \text{ МПа} \quad (5.176)$$

Проверка условия прочности при рабочих условиях:

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{P}{R_{д.к}} \leq 1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₂ = "Условие прочности выполняется" $\frac{P}{R_{д.к}} = 0.015$

Проверка условия прочности при условиях гидроиспытания:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{P_{и}}{R_{и.к}} \leq 1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

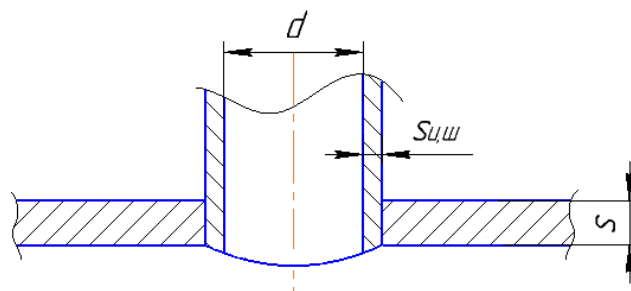
Пров₃ = "Условие прочности выполняется" $\frac{P_{и}}{R_{и.к}} = 0.058$

Условия прочности и применимости формул выполняются, следовательно принимаем Днище 1800-10-ГОСТ 6533-78. Днище и крышка будут изготавливаться штамповкой.

5.4 Расчет необходимости укрепления отверстий

Расчёт укрепления отверстий проводится в соответствии с требованиями [13]. В конструкцию аппарата входят 5 основных технологических штуцера. В данном пункте будет производиться проверка необходимости укрепления отверстия для наибольшего штуцера.

На рисунке 5.4 представлена расчетная схема укрепления отверстия, позиция I на рисунке 5.1.



d – диаметр патрубка, $s_{шт}$ – толщина стенки патрубка, s – толщина стенки обечайки

Рисунок 5.4 - Схема укрепления отверстия

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.5:

Таблица 5.5 – Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Внутренний диаметр аппарата, мм	$D = 1800$
Марка стали 12X18H10T	
Давление гидроиспытания, МПа	$P_H = 0.094$
Исполнительна толщина стенки обечайки, мм	$s = 10$
Прибавка к расчетной толщине стенки, мм	$c = 2$
Допускаемое напряжение при температуре 110°C, МПа	$\sigma_d = 173$
Коэффициент прочности сварных швов	$\varphi = 0.9$
Внутренний диаметр штуцера, мм	$d = 350$

Расчетный диаметр отверстия вычисляется по формуле 12 [13]:

$$d_p := d + 2 \cdot c = 357 \text{ мм} \quad (5.18)$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$Us1_1 := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{s - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_1 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по 16 [13]:

$$s_{p.ш} := \frac{P_H \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_d - P_H} = 0.108 \text{ мм} \quad (5.19)$$

Исполнительная толщина стенки штуцера равна:

$$s_{и.ш} := s_{p.ш} + c = 2.107 \text{ мм} \quad (5.20)$$

Исполнительную толщину стенки штуцера принимаем равной $s_{иш} = 11.5$ мм по [14].

По [13] принимаем $d_{max} = D$.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки определяется по формуле 26 [13]:

$$d_0 := \min \left[2 \cdot \left(\frac{s-c}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)}, d_{\max} + 2 \cdot c \right] = 1.807 \times 10^3 \text{ мм} \quad (5.21)$$

Проверка условий расчета укреплений отверстий:

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_p \\ \text{"Требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_2 = \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"}$$

Вывод по расчету:

Укрепление отверстия избыточной толщиной обечайки и избыточной толщиной стенки патрубка штуцера достаточно, дальнейшее укрепление отверстия не требуется.

5.5 Расчет на прочность и герметичность фланцевого соединения крышки и корпуса

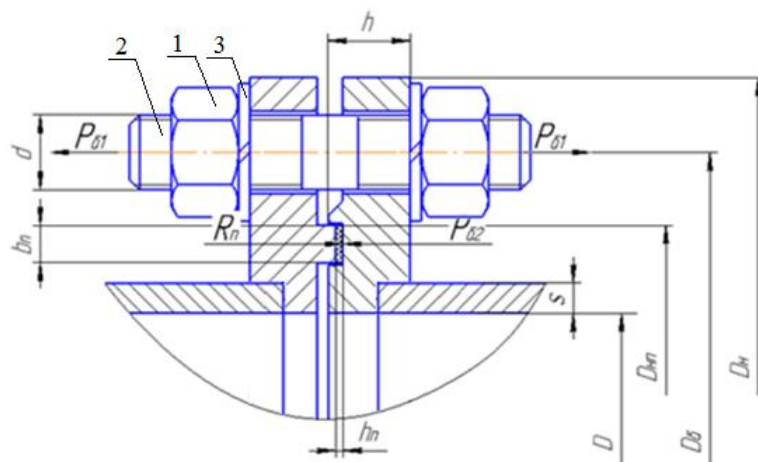
Для соединения отдельных частей и узлов аппарата применяются фланцевые соединения. При выборе фланцевых соединений необходимо руководствоваться такими параметрами, как:

- внутренний диаметр обечайки - 1800 мм;
- давление внутри аппарата при гидроиспытании - 0.094 МПа;
- расчетная температура - 110 °С;
- токсичность и опасность теплоносителей.

Т.к. сырьем для колонны являются токсичные и взрывоопасные вещества, то исходя из рекомендаций [5, 7, 15] следует выбрать фланцевое соединение по привалочной поверхности, отвечающее требованиям пожаро-, взрывоопасности. Согласно этому были подобраны фланцы стальные приварные с уплотнительной поверхностью типа шип-паз со следующими основными геометрическими размерами:

На рисунке 5.5 представлена расчетная схема фланцевого соединения, позиция II на рисунке 5.1.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



1 – гайка; 2 – шпилька; 3 – гроверная шайба; $P_{\delta 1}$ – нагрузка на шпильку при затяжке; R_n – усилие на прокладке в рабочих условиях; $P_{\delta 2}$ – нагрузка на шпильку при затяжке, необходимая для обжатия прокладки, значения размеров, указанные на рисунке, приведены в таблице 5.5.

Рисунок 5.5 - Расчетная схема фланцевого соединения

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.6:

Таблица 5.6 – Исходные данные для расчета

Название величины	Введенное обозначение и его значение
Внутренний диаметр обечайки, мм	$D = 1800$
Пробное давление гидроиспытания в аппарате, МПа	$P_n = 0.094$
Число шпилек	$n = 44$
Прибавка на коррозию, мм	$c_1 = 1$
Максимальная температура среды, °С	$t = 110$
Диаметр шпилькой окружности, мм	$D_6 = 1970$
Наружный диаметр прокладки, мм	$D_{np} = 1892$
Наружный диаметр фланца, мм	$D_n = 2045$
Ширина прокладки, мм	$b_n = 15$
Высота прокладки, мм	$h_n = 2$
Толщина тарелки фланца, мм	$h = 54$

Целью расчета в данном подразделе является проверка надежности конструкции выбранного фланцевого соединения. К критериям надежности относятся:

- прочность шпилек при затяжке и в рабочих условиях;
- статическая прочность соединения в рабочих условиях и при затяжке;

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

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

53

- прочность прокладки;
- соответствия угла поворота фланца допусжаемому значению.

5.5.1 Определение основных расчетных значений

Определение расчетных температур:

- расчетная температура неизолированных плоских фланцев по таблице В.1 [15] равна:

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t = 105.6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.22)$$

- расчетная температура шпилек по таблице В.1 [15] равна:

$$t_{\text{б}} := 0.85 \cdot t = 93.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.23)$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 20Х13 определяем по таблице Г.1 [15]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 182 \\ 165 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} := \text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{б}}) = 167.646 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек из стали 20Х13 при расчетной температуре определяем по таблице Ж.1 [15]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E_{\text{б}} := \begin{pmatrix} 2.22 \cdot 10^5 \\ 2.13 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_{\text{б}} := \text{linterp}(t, E_{\text{б}}, t_{\text{б}}) = 2.144 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для шпилек при $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ определяем по таблице Г.1 [15]:

$$\sigma_{206} := 195 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при температуре равной 20°C определяем по таблице Ж.1 [15]:

$$E_{206} := 2.28 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 20Х13 при $t = 20\text{-}100^\circ\text{C}$ определяем по таблице Ж.2 [15]:

$$\alpha_{\text{б}} := 10.9 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечайки из стали 12Х18Н10Т принимаем

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

равным σ_d :

$$\sigma := \sigma_d = 173 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката $\eta = 1$.

$$\sigma_{д.ф} := \eta \cdot \sigma = 173 \text{ МПа} \quad (5.24)$$

Модуль упругости для фланцев из стали 12X18Н10Т при расчетной температуре определяем по таблице В.1 [9]:

$$E := 2.05 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18Н10Т при $t = 20^\circ\text{C}$ принимаем равным σ_{20} :

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 184 \text{ МПа} \quad (5.25)$$

Модуль упругости для стали 12X18Н10Т при температуре испытания 20°C определяем по таблице В.1 [9]:

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

Коэффициент линейного расширения стали 12X18Н10Т при $t = 20 - 100^\circ\text{C}$ определяем по таблице Ж.2 [15]:

$$\alpha_{ф} := 17 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

Примем коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке по рекомендациям [15]:

$$\xi := 1.2$$

Коэффициент условий работы:

- для рабочих условий $K_{у.р.р} := 1$

- для условий испытания $K_{у.р.и} := 1.35$

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{у.з} := 1$$

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

$$K_{у.т} := 1.3$$

$$\sigma_{дбм} := \xi \cdot K_{у.р.р} \cdot K_{у.з} \cdot K_{у.т} \cdot \sigma_{206} = 304.2 \text{ МПа} \quad (5.26)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$\sigma_{\text{дбр}} := \xi \cdot K_{y,p,l} \cdot K_{y,z} \cdot K_{y,r} \cdot \sigma_{206} = 410.67 \text{ МПа} \quad (5.27)$$

5.5.2 Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения

Эффективная ширина плоской прокладки по формуле 5 [15]:

$$b_0 := 3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{п}}} = 14.717 \text{ мм} \quad (5.28)$$

Расчетный диаметр плоской прокладки по формуле 7 [15]:

$$D_{\text{сп}} := D_{\text{нп}} - b_0 = 1.877 \times 10^3 \text{ мм} \quad (5.29)$$

Характеристики прокладки по таблице И1 [15]:

$$m := 2.5$$

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

$$E_{\text{п}} := 0.02 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле 8 [15]:

$$P_{\text{обж}} := 0.5\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 8.68 \times 10^5 \text{ Н} \quad (5.30)$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения по формуле 9 [15]:

$$R_{\text{п}} := \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P = 5.57 \times 10^4 \text{ Н} \quad (5.31)$$

5.5.3 Усилия в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях

Площадь поперечного сечений шпилек для М20 по приложению Д [15]:

$$f_b := 430 \text{ мм}^2$$

Наружный диаметр шпильки равен $d = 27 \text{ мм}$.

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или

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

нагруженному сечению наименьшего диаметра по формуле 10 [15]:

$$A_6 := n \cdot f_6 = 1.892 \times 10^4 \text{ мм}^2 \quad (5.32)$$

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле 11 [15]:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P = 7.104 \times 10^5 \text{ Н} \quad (5.33)$$

5.5.4 Податливость прокладки и шпилек

Податливость прокладки по формуле К.1 [15]:

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 1.017 \times 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (5.34)$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$L_{60} := 170 \text{ мм}$$

Эффективная длина шпильки при определении податливости [15]:

$$L_6 := L_{60} + 0.56 \cdot d = 185.12 \text{ мм} \quad (5.35)$$

Податливость шпилек по формуле К.2 [15]:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 4.291 \times 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (5.36)$$

5.5.5 Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

- параметр длины обечайки по формуле К.3 [15]:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s} = 134.164 \text{ мм} \quad (5.37)$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру по формуле К.4 [15]:

$$K_{\text{фл}} := \frac{D_{\text{н}}}{D} = 1.136 \quad (5.38)$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца по формулам К.5 - К.8 [15]:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.862$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 16.766$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 15.409$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 7.879$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами по графикам K2-K4 [15]:

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

- коэффициент λ по формуле K.11 [15]:

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s^2} = 5.199 \quad (5.38)$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле K.12 [15]:

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot s^2} = 3.337 \times 10^{-11} \quad \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}} \quad (5.39)$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками по формуле K.18 [15]:

$$C_F := \max \left(1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right) = 1 \quad (5.40)$$

Приведенный диаметр плоского фланца определяется по рекомендации [15] и равен $D_{пр} = D$.

5.5.6 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев по формуле E.1 [15]:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$b := 0.5(D_6 - D_{сп}) = 45.008 \text{ мм} \quad (5.41)$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев по формуле Е.5 [15]:

$$S_3 := s = 10 \text{ мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев по формуле Е.4 [15]:

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_3) = 34.992 \text{ мм} \quad (5.42)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.8 [15]:

$$\gamma := \frac{1}{y_{п} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{ф} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 4.978 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (5.43)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык фланцев с плоскими прокладками по формуле Е.11 [15]:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{п} - 2 \cdot e \cdot y_{ф} \cdot b}{y_{п} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{ф}} = 1.465 \quad (5.44)$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами по формуле 13 [15]:

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{ф} \cdot h \cdot (t_{ф} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)] = 7.182 \times 10^5 \text{ Н} \quad (5.45)$$

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

$$P_{61} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{п} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{п} - Q_t \end{array} \right] = 3.996 \times 10^5 \text{ Н} \quad (5.46)$$

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

$$P_{62} := \max [(P_{обж}), 0.4 \cdot A_6 \cdot \sigma_{206}] = 1.476 \times 10^6 \text{ Н} \quad (5.47)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле 17 [15]:

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

$$P_{6M} := \max(P_{61}, P_{62}) = 1.476 \times 10^6 \text{ Н} \quad (5.48)$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях по формуле 18 [15]:

$$P_{6P} := P_{6M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t = 2.072 \times 10^6 \text{ Н} \quad (5.49)$$

5.5.7 Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения в шпильках:

- при затяжке по формуле 19 [15]:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_6} = 78 \text{ МПа} \quad (5.50)$$

- в рабочих условиях по формуле 20 [15]:

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6P}}{A_6} = 109.536 \text{ МПа} \quad (5.51)$$

Проверка условий прочности шпилек при затяжке и в рабочих условиях по формулам 21,22 [15]:

$$U_{sl_1} := \begin{cases} \text{"Условия при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{д6M} \\ \text{"Условия в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д6P} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 35.089 \text{ МПа} \quad (5.52)$$

Т.к. прокладка выполняется из паронита, то, исходя из рекомендаций [15] её необходимо проверить на прочность.

Условие прочности прокладки

$$U_{sl_2} := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

60

5.5.8 Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец или плоский фланец при затяжке по формуле 24 [15]:

$$M_M := C_F \cdot P_{бМ} \cdot b = 6.642 \times 10^7 \text{ Н*мм} \quad (5.53)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях по формуле 26 [15]:

$$M_P := C_F \cdot \max [P_{бP} \cdot b + (Q_d) \cdot e, |Q_d| \cdot e] = 1.024 \times 10^8 \text{ Н*мм} \quad (5.54)$$

5.5.9 Расчетные напряжения во фланце при затяжке

- меридиональное изгибное напряжение в обечайке плоского фланца определяется по формулам 30 [15]:

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (s - c)^2 \cdot D_{гр}}$$
$$\sigma_{1M} := \sigma_{0M} = 167.983 \text{ МПа}$$

- напряжения в тарелке плоского фланца в условиях затяжки по рассчитываются формулам 31,32 [15]:

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 1.026 \text{ МПа} \quad (5.55)$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 31.399 \text{ МПа} \quad (5.56)$$

5.5.10 Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

- меридиональные изгибные напряжения для плоских фланцев рассчитываются по формуле 34 [15]:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$\sigma_{1p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (s - c)^2 \cdot D_{пр}}$$

$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} = 259.035 \text{ МПа}$$

- меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца определяется по формуле 38 [15]:

$$\sigma_{P0MM} := \frac{Q_d}{\pi \cdot (D + s) \cdot s - c} = 4.598 \text{ МПа} \quad (5.57)$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления в обечайке плоского фланца вычисляются по формуле 39 [15]:

$$\sigma_{POMO} := \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot (s - c)} = 13.04 \text{ МПа} \quad (5.58)$$

Определим напряжения в тарелке плоского фланца в рабочих условиях:

- радиальное напряжение по формуле 40 [15]:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 1.583 \text{ МПа} \quad (5.59)$$

- окружное напряжение по формуле 41 [15]:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 48.419 \text{ МПа} \quad (5.60)$$

5.5.11 Проверка условий статической прочности фланцев

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций $K_T = 1.3$.

Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений и допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений рассчитываем в соответствии с п.8.10 [15]:

$$\sigma_{д.м} := 1.5 \cdot \sigma = 261 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.р} := 3 \cdot \sigma = 522 \text{ МПа}$$

Для приварных фланцев:

- в рабочих условиях

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\left(\begin{array}{c} |\sigma_{0p} - \sigma_{P0MM} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{P0MM} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{P0MM}| \end{array} \right) \right) = 263.633 \text{ МПа}$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

- при затяжке

$$\sigma_{3max} := \max \left(|\sigma_{1M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{1M} + \sigma_{TM}| \right) = 199.382 \text{ МПа}$$

Проверка условий прочности при затяжке

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{3max} \leq K_T \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

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

Проверка условий для фланцев в сечении S_0 :

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max \left(|\sigma_{P0Mo}|, |\sigma_{P0MM}| \right) \leq \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

Для тарелок плоских фланцев должны выполняться следующие условия:

- при затяжке по формуле 54 [15]

Проверка условий для тарелок плоских фланцев при затяжке

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

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

- в рабочих условиях по формуле 55 [15]:

Проверка условий для тарелок плоских фланцев в рабочих условиях

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

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

5.5.12 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота плоского фланца по формуле 58 [15]:

$$\Theta := M_p \cdot y_f \cdot \frac{E_{20}}{E} = 3.585 \times 10^{-2} \text{ рад} \quad (5.61)$$

Допустимый угол поворота плоского фланца равен [15]:

$$\Theta_d := 0.006 \text{ рад}$$

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

$$Usl_P = \text{"Условие поворота фланца выполняется"}$$

5.5.13 Проверка малоциклового прочностного элемента фланцевого соединения

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичных элементов фланцевого соединения, приведенного в [14], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [16] не проводится.

Вывод по расчету:

В данном подразделе были произведены расчеты прочности фланцев, шпилек и прокладок, а также расчет герметичности фланцевого соединения. По произведенным расчетом можно сделать вывод, что конструкция фланцевого соединения отвечает всем критериям надежности.

5.6 Расчёт колпачковой тарелки на прогиб

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

Определим толщину тарелки:

Коэффициент, зависящий от способа закрепления стенки определим по [17]
 $K = 0.36$.

Расстояние между центрами отверстий на тарелке равно $t = 140$ мм.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

64

Меньшая сторона стенки равна $b = 390$ мм.

Предел текучести для материала тарелки: в рабочих условиях:

$$\tau_{\text{тар}} := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\left(\begin{array}{c} 100 \\ 150 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 261 \\ 255 \end{array} \right), t_p, 0.5 \right] \right] = 260.5 \text{ МПа}$$

Запас прочности:

$$n_T := 1.1$$

Поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата:

$$\eta_T := 0.9$$

Допускаемое напряжение на изгиб для материала тарелки:

$$\sigma_{\text{из}} := \frac{\tau_{\text{тар}}}{n_T} \cdot \eta_T = 213.136 \text{ МПа}$$

Высота слоя жидкости на тарелки равна $h = 0.032$ м.

Плотность жидкости на тарелке равна $\rho_{\text{жид}} = 796$ кг/м³.

Массу человека, назначаем конструктивно равной $W_0 = 100$ кг.

Масса тарелки равна $W_T = 112$ кг.

Давление, действующее на тарелку аппарата:

$$p := \left[\left[\frac{4 \cdot g \cdot (W_T + W_0)}{D^2 \cdot \pi \cdot 10^{-6}} \right] + \rho_{\text{жид}} \cdot h \cdot g \right] \cdot 10^{-6} = 1.067 \times 10^{-3} \text{ МПа} \quad (5.62)$$

Расчетная толщина тарелки:

$$s_{\text{тар}} := K \cdot b \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_d \cdot \varphi}} = 0.367 \text{ мм} \quad (5.63)$$

Исполнительная толщина тарелки:

$$s_{\text{итар}} := s_{\text{тар}} + c = 3.867 \text{ мм} \quad (5.64)$$

Принимаем исполнительную толщину тарелки $s_T = 4$ мм.

5.6.1 Произведем расчет тарелки на прогиб

Коэффициент для жестко закрепленной по периметру секции равен:

$$K_c := 0.0206$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Модуль упругости материала тарелки равен:

$$E_{\text{тар}} := E = 2.05 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Относительный прогиб определим по [17]:

$$y := K_c \cdot \frac{b^4 \cdot p}{E_{\text{тар}} \cdot s_T} = 0.62 \text{ мм} \quad (5.65)$$

Прогиб тарелки не должен быть больше 2 мм [18], условие выполняется.

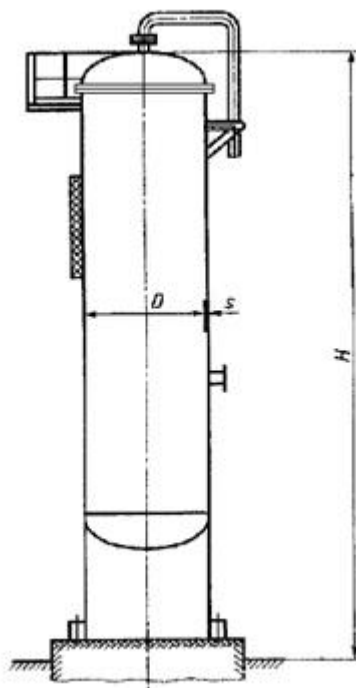
$$\text{Проверка}_{\text{тар}} := \begin{cases} \text{"Прогиб нормальный"} & \text{if } y < 2 \\ \text{"Увеличить толщину тарелки"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Прогиб нормальный"}$$

Вывод по расчету:

Исполнительная толщина колпачковой тарелки удовлетворяет условию прогиба и не требует дополнительного укрепления.

5.7 Расчет аппарата на прочность

Проектируемая колонная находится в здании ввиду своих габаритов, а значит расчет на ветровую нагрузку для нее не производится.



D – диаметр обечайки, s – толщина стенки, H – высота колонны.

Рисунок 5.6 - Расчетные сечения корпуса аппарата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

66

5.7.1 Определение массы ректификационной колонны

- определение массы пустой колонны:

- Масса обечайки равна $m_{об} = 4285$ кг;
- Масса крышки и днища:

Согласно таблицы [12] масса днища 1800-10-ГОСТ 6533-78 равна 297,4 кг.

Тогда, суммарная масса крышки и днища равна:

$$m_{дн} := 2 \cdot 297.4 = 594.8 \text{ кг}$$

- Масса тарелки равна:

$$m_T := W_T = 112 \text{ кг}$$

- Общая масса аппарата равна:

Примем, что фланцы, патрубки, распределительные устройства и пр. составляют 30% от общей массы аппарата, тогда масса пустого аппарата равна:

$$m_{апп} := 1.3 \cdot (m_{об} + m_{дн} + 12 \cdot m_T) = 8030 \text{ кг} \quad (5.66)$$

Вес пустого аппарата равен:

$$G_3 := m_{апп} \cdot g = 7.877 \times 10^4 \text{ Н} \quad (5.67)$$

- определение массы колонны при гидроиспытаниях:

- Рассчитаем также массу воды в аппарате:

$$m_{вод} := \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_K \cdot \rho_B \cdot 10^{-9} = 24429 \text{ кг} \quad (5.68)$$

- Масса аппарата при гидроиспытаниях:

$$m_a := m_{апп} + m_{вод} = 32459 \text{ кг} \quad (5.69)$$

Вес аппарата при гидроиспытаниях равен:

$$G_1 := m_a \cdot g = 3.184 \times 10^5 \text{ Н}$$

По полученным значениям по [19] принимаем опору 1-1800-0.63-0.32-1800 АТК 24.200.04-90.

5.7.2 Расчет нагрузок

Т.к. колонна располагается в здании, то на нее не действует изгибающий момент

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

67

возникающий при воздействии ветровой нагрузки на колонну.

По условию изгибающий момент равен:

$$M_{\text{исх}} := 0 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad \sigma_{\text{дк}} := \sigma_{\text{д}} = 173 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие определяем по формуле 13 [10]:

$$F_{\text{дк}} := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{дк}} = 5.777 \times 10^6 \text{ Н} \quad (5.70)$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности по формуле 29 [10]:

$$M_{\text{дп}} := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\text{дк}} = 2.888 \times 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (5.71)$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости по [10] при $n_y = 1.8$ равен:

$$M_{\text{де}} := \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot D^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 4.632 \times 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (5.72)$$

Допускаемый изгибающий момент для условий испытания по формуле 28 [10]:

$$M_{\text{д}} := \frac{M_{\text{дп}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{\text{дп}}}{M_{\text{де}}} \right)^2}} = 2.451 \times 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (5.73)$$

5.7.3 Проверка прочности

- при рабочих условиях

Исходя из таблицы [20]:

$$F_1 := G_1$$

$$F_{\text{дк}} := F_1$$

$$M_{\text{исх}} := M_{\text{исх}} = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Продольные напряжения следует рассчитывать:

- на наветренной стороне по формуле 2 [20]

$$\sigma_{x1} := \frac{P \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 9.633 \text{ МПа} \quad (5.74)$$

- на подветренной стороне по формуле 3 [20]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$\sigma_{x2} := \frac{P \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (s - c)} - \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 9.633 \text{ МПа} \quad (5.75)$$

Кольцевые напряжения следует рассчитывать по формуле 4 [20]:

$$\sigma_y := \frac{P \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} = 17.868 \text{ МПа} \quad (5.76)$$

Эквивалентные напряжения следует рассчитывать:

- на наветренной стороне по формуле 5 [20]

$$\sigma_{E1} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 15.49 \text{ МПа} \quad (5.77)$$

- на подветренной стороне по формуле 6 [20]

$$\sigma_{E2} := \sqrt{\sigma_{x2}^2 - \sigma_{x2} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 15.49 \text{ МПа} \quad (5.78)$$

Условия прочности следует проверять:

- на наветренной стороне по формуле 7 [20]

Проверка условий прочности

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{x1}|, \sigma_{E1}) \leq \sigma_{дк} \cdot \varphi \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

- на подветренной стороне по формуле 8 [20]

Проверка условий прочности

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } (\max(|\sigma_{x2}|, \sigma_{E2}) \leq \sigma_{дк} \cdot \varphi) \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

- при условиях монтажа:

По [20] примем:

$$F_3 := G_3$$

$$F_{\text{ww}} := F_3$$

При условиях монтажа избыточное давление в колонне равно 0:

$$p := 0 \text{ МПа}$$

Продольные напряжения следует рассчитывать:

- на наветренной стороне по формуле 2 [20]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$\sigma_{x1} := \frac{p \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = -1.716 \text{ МПа} \quad (5.79)$$

- на подветренной стороне по формуле 3 [20]

$$\sigma_{x2} := \frac{p \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (s - c)} - \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = -1.716 \text{ МПа} \quad (5.80)$$

Кольцевые напряжения следует рассчитывать по формуле 4 [20]:

$$\sigma_{\varphi} := \frac{p \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} = 0 \text{ МПа} \quad (5.81)$$

Эквивалентные напряжения следует рассчитывать:

- на наветренной стороне по формуле 5 [20]:

$$\sigma_{E1} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 1.716 \text{ МПа} \quad (5.82)$$

- на подветренной стороне по формуле 6 [20]:

$$\sigma_{E2} := \sqrt{\sigma_{x2}^2 - \sigma_{x2} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 1.716 \text{ МПа} \quad (5.83)$$

Условия прочности следует проверить:

- на наветренной стороне по формуле 7 [20]

Проверка условий прочности

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{x1}|, \sigma_{E1}) \leq \sigma_{дк} \cdot \varphi \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

- на подветренной стороне по формуле 8 [20]

Проверка условий прочности

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{x2}|, \sigma_{E2}) \leq \sigma_{дк} \cdot \varphi \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

5.7.4 Проверка устойчивости

Проверку устойчивости для рабочих условий и условий испытания для аппаратов под внутренним избыточным давлением следует проводить по формуле 9 [20]:

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

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

70

- при рабочих условиях

По таблице 1 [20] принимаем:

$$F := F_1$$

Проверка условий устойчивости

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия устойчивости выполняются"} & \text{if } \left(\frac{F}{F_d} + \frac{M}{M_d} \leq 1 \right) \\ \text{"Условия устойчивости НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_1 = \text{"Условия устойчивости выполняются"}$$

- при условиях испытания

По таблице 1 [20] принимаем:

$$F := G_1$$

$$M := M_{исх}$$

Проверка условий устойчивости

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия устойчивости выполняются"} & \text{if } \left(\frac{F}{F_d} + \frac{M}{M_d} \leq 1 \right) \\ \text{"Условия устойчивости НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_1 = \text{"Условия устойчивости выполняются"}$$

5.7.5 Проверка устойчивости опорной обечайки от максимального веса колонны при гидроиспытаниях

$$n_{\text{нн}} := 1.8$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности по формуле 15 [10]:

$$F_{\text{нн}} := \pi \cdot (D_{\text{об}} + s_2) \cdot s_2 \cdot \sigma_{\text{н}} \cdot \varphi \cdot 10^{-6} = 10.265 \text{ МН} \quad (5.84)$$

Определим $F_{\text{Еи}}$ по формулам 16-18 [10]:

$$F_{\text{Еи}} = \min(F_{\text{Е1и}}, F_{\text{Е2и}})$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости по формуле 16 [10]:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$F_{E1н} := \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D_{об}^2 \cdot \left(100 \cdot \frac{s_2}{D_{об}}\right)^{2.5} \cdot 10^{-6}}{n_y} = 15.064 \text{ МН} \quad (5.85)$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости по формуле 18 [10]:

$$F_{E2н} := \frac{\pi}{n_y} \cdot (D + s_2) \cdot s_2 \cdot E_{20} \cdot \left(\frac{\pi}{2.83 \cdot \frac{2 \cdot H_{00}}{D + s_2}}\right)^2 \cdot 10^{-6} = 1.687 \times 10^3 \text{ МН} \quad (5.86)$$

Тогда $F_{Eи}$ равно:

$$F_{Eи} := \min(F_{E1и}, F_{E2и}) = 15.064 \text{ МН}$$

Допускаемое сжимающее усилие при рабочих условиях равно:

$$F_{дн} := \frac{F_{пн}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{пн}}{F_{Eи}}\right)^2}} = 8.483 \text{ МПа} \quad (5.87)$$

Расчетное значение сжимающего усилия, действующего на опорную обечайку равно:

$$G_1 := 0.318 \text{ МН}$$

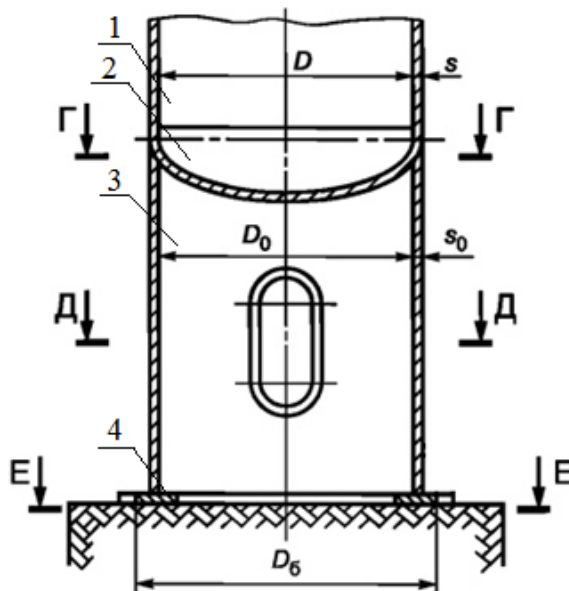
$$F_1 := G_1$$

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{F_1}{F_{дн}} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_3 = \text{"Условие устойчивости выполняется"} \quad \frac{F_1}{F_{дн}} = 0.037$$

5.7.6 Опорная обечайка

На рисунке 5.7 представлена расчетная схема цилиндрической обечайки, позиция 3 на рисунке 5.1.



1 – обечайка аппарата, 2 – днище, 3 – опорная обечайка, 4 – опорное кольца, D – диаметр обечайки аппарата, s – толщина стенки аппарата, D₀ – диаметр опорной обечайки, s₀ – толщина стенки опорной обечайки, D₆ – диаметр болтовой окружности анкерных болтов.

Рисунок 5.7 - Расчетные сечения цилиндрической опорной обечайки

Проверку прочности сварного шва, соединяющего корпус аппарата с опорной обечайкой следует проводить по формуле 7 [20]:

Принимаем:

$$D_0 := D \quad s_0 := s$$

$$a := 5 \text{ мм} \quad a_1 := 3 \text{ мм} \quad a_2 := 1.5 \text{ мм}$$

Проверка условий прочности

$$\begin{aligned}
 \text{Usl_1} &:= \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot a} \cdot \left(\frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 1 \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \\
 \text{Usl_1} &= \text{"Условия прочности выполняются"} \quad \frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot a} \cdot \left(\frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) = 0.081
 \end{aligned}$$

Принимаем диаметр отверстия в сечении Д-Д равным d₀ = 70 мм.

Необходимость проверки по формулам 12, 13 [20] сечение Д-Д:

Условия необходимости проверки:

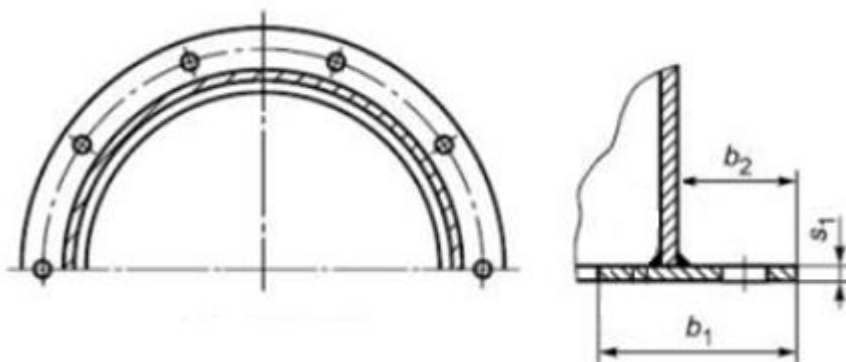
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$U_{sl_1} := \begin{cases} \text{"Проверка НЕ нужна"} & \text{if } d_0 < 0.04 \cdot D_0 \\ \text{"Проверка нужна"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl_1} = \text{"Проверка НЕ нужна"}$

5.7.7 Элементы опорного узла

На рисунке 5.8 представлена расчетная схема опорного узла, позиция 4 на рисунке 5.1.



b_2 – ширина выступающей части опорного кольца, b_1 – ширина опорного кольца, s_1 – толщина опорного кольца

Рисунок 5.8 - Расчетная схема опорного узла

В качестве материала для опорного узла принимаем сталь 12X18H10T.

Для опорного узла в исполнении 4 должны выполняться следующие условия [20]:

Принимаем $D_0 = D$.

$$U_{sl_1} := \begin{cases} \text{"Условия применимости выполняются"} & \text{if } s_1 \geq \sqrt{\left(4 \cdot \frac{M}{D_0} + F\right) \cdot 4 \cdot \frac{e}{\pi \cdot D_0 \cdot \sigma_d}} + c \\ \text{"Условия применимости НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl_1} = \text{"Условия применимости выполняются"}$

Проверку прочности сварного шва приварки нижнего опорного кольца исполнения 4 к опорной обечайке проводят по формуле 21 [20]:

$$U_{sl_1} := \begin{cases} \text{"Условия применимости выполняются"} & \text{if } \left[\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot 1.4 \cdot \min(a_1, a_2)} \cdot \left(4 \cdot \frac{M}{D_0} + F\right) \leq 0.5 \cdot \sigma_d \right] + c \\ \text{"Условия применимости НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl_1} = \text{"Условия применимости выполняются"}$

Расчет фундаментных шпилек не проводится (пункт 9.1 [20]), т.к. аппарат находится в помещении и расчетный изгибающий момент равен $M = 0$.

Ввиду установки разрабатываемой ректификационной колонны в здании – расчет

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

74

фундаментных болтов не требуется [7]. Примем по [19] фундаментные болты изогнутые (исполнение 2) с характеристиками, указанными в таблице 5.7.

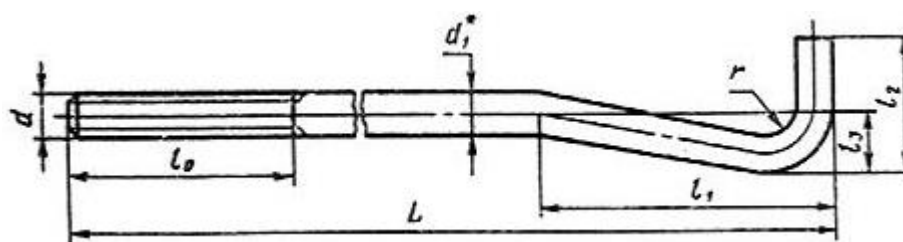


Рисунок 5.9 - Расчетная схема изогнутого фундаментного болта

Таблица 5.7 – Основные размеры изогнутых фундаментных болтов

Название величины	Обозначение на чертеже
Номинальный диаметр резьбы, мм	$d = 48$
Диаметр ножки болта, мм	$d_0 = 48$
Длина резьбы, мм	$l_0 = 150$
Длина изогнутой части болта, мм	$l_1 = 400$
Длина ножки болта, мм	$l_2 = 200$
Расстояние между осью болта и задней частью ножки болта, мм	$l_3 = 100$

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

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

75

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

Студенту:

Группа 3-2К51	ФИО Симагин Виктор Сергеевич
------------------	---------------------------------

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Исследования проводятся на базе НОЦ Н.М. Кижнера НИ ТПУ, в исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность».
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ (ПФР - 22 %, в ФОМС - 5,1 %, в ФСС - 2,9 %).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ основных критериев сравнения, экспертная оценка эффективности, SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения НИ, расчет материальных затрат НИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности исследования, контрольные события научного исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Затраты на научно-исследовательский проект.
2. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.
3. Сравнительная эффективность разработки.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К51	Симагин Виктор Сергеевич		

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящей работе представлен расчет установки для ректификации бинарной смеси бензол-толуол. Основными потребителями подобного оборудования являются предприятия пищевой, химической, нефтегазовой промышленности и т. д.

Для определения сильных и слабых сторон проекта, а также потенциальных угроз и возможностей, проведен SWOT-анализ (табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны НИР: С1. Компетенции участников проекта в данной области С2. Актуальность и востребованность результатов проекта С3. Использование новых автоматизированных технологий С4. Энергоэффективность и экономичность технологии С5. Высокое качество продукции, соответствующее мировым стандартам</p>	<p>Слабые стороны НИР: Сл1. Нет возможности провести испытания Сл2. Большое количество материала для изготовления Сл3. Уменьшение размеров аппарата при неизменной производительности</p>
<p>Возможности: В1. Постоянное повышение квалификации персонала В2. Спрос на результаты теоретических расчетов В3. Выход на международный рынок</p>	<p>Постоянное повышение квалификации персонала положительно скажется на эксплуатации аппарата персоналом, внедрении возможных модификаций в конструкцию, получение продукта высокого качества и 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. В результате выхода на мировую арену вырастет спрос на результаты расчетов</p>
<p>Угрозы: У1. Модификация уже существующих технологий У2. Риск невозможности импорта товара из-за санкционной политики У3. Появление новых конкурентов</p>	<p>Появление новых конкурентов и риск невозможности импорта товаров из-за введения санкций может негативно сказаться на желании квалифицированного специалиста работать на предприятии.</p>	<p>Риск невозможности импорта товаров из-за введения санкций может отбросить необходимость развития широкой логистической сети по подаче сырья и транспортировки продукта, а также поставить под угрозу поставки материалов.</p>

SWOT-анализ показывает на то, что основной угрозой проекта является

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

санкционная политика. С целью обеспечения конкурентоспособности продукта, необходимо использование высококачественные отечественные материалы и комплектующие, соответствующие современным требованиям, а также способных привлечь покупателей из-за рубежа.

6.1 Планирование научного исследования

Для планирования комплекса предполагаемых работ осуществление происходит в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Порядок составления этапов, работ и распределение исполнителей по данным этапам работ представлен в таблице 6.2:

Таблица 6.2 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	Номер работ	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель (НР)
Выбор направления исследований	2	Подбор материалов по теме исследования	Исполнитель (И)
	3	Изучение материалов по теме исследования	И
	4	Выбор направления исследования	НР, И
	5	Календарное планирование работ	НР, И
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	И
	7	Утверждение лучшего результата	НР
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	НР, И
	9	Определение целесообразности выполнения ВКР	И
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка чертежа аппарата в программе КОМПАС 3D	И
	11	Проверка разработанных чертежей	НР
Оформление отчета по НИР	12	Составление пояснительной записки	И

6.1.1 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (6.1)$$

где $t_{ожі}$ – 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 работ выделено 4 месяца (февраль – май), что в календарных днях равно 97 дням. Кратчайший срок выполнения проекта – 64 дней, максимальный – 96 дней (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Минимальная и максимальная трудоемкость выполнения работ

Номер работ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Минимальная трудоемкость	1	2	5	1	1	18	1	1	1	15	1	17
Максимальная трудоемкость	1	4	7	1	1	25	1	3	1	24	3	25

Определим ожидаемую трудоемкость по формуле (6.1) с округлением до целых:

Таблица 6.4 – Ожидаемая трудоемкость выполнения работ

Номер работ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ожидаемая трудоемкость	1	3	6	1	1	21	1	2	1	19	2	20

С учетом ожидаемой продолжительности работ, по формуле (6.2) определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (6.2)$$

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

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

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

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

6.1.2 Разработка графика проведения научного исследования

С целью построения графика Гантта, необходимо дни, затраченные на каждый этап работ, перевести в календарные по формуле (6.3):

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}} \quad (6.3)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по формуле (6.4):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (6.4)$$

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

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

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

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 52 - 14} = 1,22$$

Продолжительность каждой из работ рассчитанная по формулам и представлена в таблице Б.1 приложения Б с округлением до целых.

С учетом данных из таблицы Б.1 приложения Б составим план-график работ (рис. 6.1):

Номер работ	Содержание работ	Исполнитель	Февраль			Март			Апрель			Май					
			10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30			
1	Составление и разработка технического задания	НР	■														
2	Подбор материалов по теме исследования	НР, И	■	■													
3	Изучение материалов по теме исследования	И	■	■	■												
4	Выбор направления исследования	НР, И		■	■												
5	Календарное планирование работ	НР, И		■	■												
6	Проведение теоретических расчетов с использованием ПО UniSim Design и MathCAD	И		■	■	■											
7	Выбор лучшего результата	НР				■	■										
8	Оценка эффективности полученных результатов	НР, И				■	■										
9	Определение целесообразности выполнения ВКР	НР, И				■	■										
10	Разработка чертежей в программе КОМПАС 3D	И				■	■	■									
11	Проверка разработанных чертежей	НР, И					■	■									
12	Составление пояснительной записки	И						■	■	■							

Рисунок 6.1 - План-график работ: ■ - Научный руководитель, ■ - Исполнитель

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

6.2 Расчет затрат

В данном разделе приведен расчет основных затрат, входящих в бюджет НТИ.

6.2.1 Материальные затраты

Расчет материальных затрат ведется по формуле (6.5):

$$Z_m = (1 + k_T) \times \sum_{i=1}^m C_i \times N_{\text{расх } i} \quad (6.5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых в процессе выполнения работ;

$N_{\text{расх } i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (шт., кг, л, и т.д.)

C_i – цена единицы i -го вида материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./л и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (принимается в размере 17% от стоимости материалов).

Таблица 6.5 - Материальные затраты в рамках работ (исполнение 1)

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб	Затраты на материалы, руб.
Фракция бензол-толуольная	т	1	59000	69030
Материал	т	18	35	737,1
Датчики	шт.	15	6000	105300
Пар	гКал	0,3	8	2,81
Итого				175069,91

Таблица 6.6 - Материальные затраты в рамках работ (исполнение 2)

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб	Затраты на материалы, руб.
Фракция бензол-толуольная	т	1	51000	59670
Материал	т	20	25	585
Датчики	шт.	18	6000	126360
Пар	гКал	0,3	8	2,81
Итого				186617,81

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

81

6.2.2 Расчет амортизационных отчислений

Амортизационные отчисления с учетом срока эксплуатации оборудования, его стоимости и норм амортизации рассчитываются по формуле (6.6):

$$A_0 = \frac{C_n \times H_0}{100 \times T_{\text{раб.год}}} T_{\text{раб}} \quad (6.6)$$

где A_0 – амортизационные отчисления, руб.;

C_n – стоимость оборудования, руб.;

H_0 – норма амортизации, %;

$T_{\text{раб.год}}$ – количество рабочих дней;

$T_{\text{раб}}$ – дни эксплуатации в рамках работы.

Норма амортизационных вычислений вычисляется по формуле (6.7):

$$H_0 = \frac{1}{n} \times 100\% \quad (6.7)$$

где H_0 – норма амортизации, %

n – срок эксплуатации оборудования, лет.

В соответствии с экспериментальными данными, принято 5 дней эксплуатации оборудования.

Таблица 6.7 - Амортизационные отчисления

Наименование основных средств	Количество основных средств, шт.	Срок эксплуатации, лет	Норма амортизации, %	Стоимость, тыс. руб.	Амортизационные отчисления, тыс. руб.
Колонна	1	15	6,7	20000	30,46
Конденсатор	1	15	6,7	6000	9,14
Подогреватель	1	15	6,7	5000	7,62
Емкость	4	20	5	3000	13,64
Кипятильник	1	15	6,7	5000	7,62
Теплообменник	2	15	6,7	7000	21,32
Итого					89,8

6.2.3 Затраты на электроэнергию

Затраты на электроэнергию рассчитывают по формуле (6.8):

$$Z_э = T_э \times M \times T_{\text{раб}} \quad (6.8)$$

где $Z_э$ – затраты на электроэнергию;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

82

$T_{э}$ – стоимость 1 кВт*часа электроэнергии;

M – потребляемая мощность, кВт;

$T_{\text{раб}}$ – число рабочих часов оборудования, ч.

Таким образом:

$$Z_{э} = T_{э} \times M \times T_{\text{раб}} = 2,56 \times 215 \times 5 \times 24 = 66048 \text{ руб.}$$

6.2.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (6.9)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.

дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (6.10):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (6.10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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 6.8 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	48	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	248	276

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \times (1 + k_{пр} + k_d) \times k_p \quad (6.11)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Произведем расчет фонда заработной платы производственных рабочих и занесем

результаты в таблице 6.9.

Таблица 6.9 - Расчет фонда заработной платы производственных рабочих

Исполнители	Z_b , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	35120	0,3	0,2	1,3	68484	2826	7	19782
Инженер	26300	0,3	0,2	1,3	51285	1932	73	141036
Итого								

6.2.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (6.12)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12). Результаты расчета приведены в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы

Зарплата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	19782	141036
Дополнительная зарплата	2374	16924
Зарплата исполнителя	22156	157960
Итого по статье $C_{зн}$	180116	

Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (6.13)$$

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2020 г. Размер ставки страховых взносов равен 30%. Таким образом:

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot 180116 = 54035 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр} \quad (6.14)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

6.2.5 Формирование бюджета затрат

Бюджет затрат проведенных работ приведен в таблицк 6.11.

Таблица 6.11 - Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты НТИ	175069,91
2. Амортизационные отчисления	89800
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	160818
4. Затраты по дополнительной заработной плате	19298
5. Отчисления во внебюджетные фонды	54035
6. Затраты на научные и производственные командировки	0
7. Накладные расходы	79843
8. Бюджет затрат НТИ	578864

6.3 Определение ресурсной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением финансовой эффективности и ресурсоэффективности

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (6.14)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (6.15)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (табл. 6.12).

Таблица 6.12 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Производительность	0,1	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	5
3. Энергосбережение	0,2	4	4
4. Надежность	0,25	4	5
5. Доступность запчастей	0,2	4	5
6. Стоимость	0,1	5	4
ИТОГО	1	4,35	4,7

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{исп}i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}}, I_{\text{исп.2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} \quad (6.16)$$

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} \quad (6.17)$$

Таблица 6.13 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	1,00
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,35	4,7
3	Интегральный показатель эффективности	4,44	4,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,94	1

Анализируя проделанную работу в данном разделе, можно сделать вывод, что лучшая ресурсоэффективность достигается во 2 исполнении, предусматривающего использование 18 датчиков.

Вывод:

- 1) Определен коммерческий потенциал, а также сильные и слабые стороны проекта. По результатам SWOT анализа, основной угрозой в реализации проекта является санкционная политика, способная привести к сбоям в поставках комплектующих и затруднению выхода на международный рынок.
- 2) Составлен план-график работ, включающий 12 пунктов.
- 3) Рассчитан бюджет работ, который не превысил 600 тыс. руб.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К51	Симагин Виктор Сергеевич

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

Тема ВКР:

Проектирование ректификационной колонны бензол-толуол тарельчатого типа	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – Ректификационная колонна Рабочая зона – Закрытая площадка Область применения – Химическая промышленность
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: -специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; -организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- Федеральный закон «О специальной оценке условий труда»; - Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»; - Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»; Федеральный закон «Об основах охраны труда в РФ» - Трудовой кодекс РФ.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	Вредные факторы: 1. Повышенная температура воздушной среды; 2. Повышенный уровень шума; 3. Недостаток необходимого искусственного освещения. Опасные факторы: 1. Утечка токсичных и вредных веществ.
3. Экологическая безопасность: -анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы)	Анализ воздействия объекта на атмосферу (пары бензола и толуола); - Анализ воздействия объекта на гидросферу (отсутствует); - Анализ воздействия объекта на литосферу (отсутствует).

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: возгорание ГСМ, лесные пожары, пожарная и взрывная опасность, ураганы. Наиболее типичная ЧС: пожарная и взрывная опасность.
--	--

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К51	Симагин Виктор Сергеевич		

7 Социальная ответственность

Безопасность человека на производстве является сложной многоуровневой задачей, одним из аспектов которой является социальная ответственность. Практика решения вопросов охраны труда на производстве показывает, что инженерно-технические решения этих вопросов, не могут обеспечить полностью качественную и эффективную защиту работников. Необходимо учитывать человеческий фактор, в том числе, повышенную социальную и моральную ответственность работодателей за создаваемые условия труда.

Объектом исследования данной работы является установка ректификации бинарной смеси бензол-толуол. На разрабатываемой площадке находится сама ректификационная колонна, а также ее обвязка, которая включает в себя, конденсатор-холодильник, теплообменник и насосную станцию. Так как поверхности данного оборудования нагреты до высоких температур, работают они под высоким давлением, а внутри данных аппаратов содержатся химически опасные вещества, то рабочим необходимо строго соблюдать технику безопасности.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.

Основная задача по созданию здоровых и безопасных условий труда и защите окружающей природной среды возложена на администрацию предприятия и инженерные кадры, которые обязаны выявлять и предупреждать, ограничивать или устранять опасные и вредные факторы производства, решать вопросы гуманизации техники, технологии и организации труда, нормализации санитарно-гигиенических параметров производственной среды, эргономичности помещений и рабочих мест, организации санитарно-бытового обслуживания работающих.

Форма осуществления трудового процесса вахтовый метод. Работники, привлекаемый к работам вахтовым методом, в период нахождения на объекте производства работ проживают в специально создаваемых работодателем вахтовых поселках, представляющих собой комплекс зданий и сооружений, предназначенные для обеспечения жизнедеятельности работников во время выполнения ими работ и

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

90

междусменного отдыха. Согласно [22] продолжительность вахты не должна превышать одного месяца. Рабочее время и время отдыха в пределах учетного периода регламентируются графиком работы на вахте, который утверждается работодателем с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации в порядке, установленном [22] для принятия локальных нормативных актов, и доводится до сведения работников не позднее чем за два месяца до введения его в действие.

Каждый день отдыха в связи с переработкой рабочего времени в пределах графика работы на вахте (день междувахтового отдыха) оплачивается в размере дневной тарифной ставки, дневной ставки (части оклада (должностного оклада) за день работы), если более высокая оплата не установлена коллективным договором, локальным нормативным актом или трудовым договором.

Часы переработки рабочего времени в пределах графика работы на вахте, не кратные целому рабочему дню, могут накапливаться в течение календарного года и суммироваться до целых рабочих дней с последующим предоставлением дополнительных дней между вахтового отдыха.

Основные эргономические требования:

1. Все аппараты, входящие в состав установки ректификации, должны быть оборудованы площадками и маршевыми лестницами для обслуживания. Устанавливаются переходы через трубопроводы. Все они должны иметь перила высотой не менее 1250 мм.

2. Обеспечения рабочего места инструментами и расходными материалами, необходимые при работах по обслуживанию установки ректификации.

3. Должно быть организованно хорошее освещение, вентиляция, шумоизоляция и пожарная безопасность. Для обслуживания трубопроводов, запорной арматуры, а также аппаратов, входящих в состав установки ректификации, в темное время суток вне закрытой площадки устанавливается уличное освещения. Здание, где располагается непосредственно ректификационная колонна оснащается вентиляцией, шумоизоляционными окнами, пожарным инвентарем и огнетушителями.

7.2 Производственная безопасность

В данном пункте проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут возникать при эксплуатации ректификационной колонны. Данные факторы сведены в таблицу 7.1 с указанием нормативных документов, регламентирующих данные факторы.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

91

Таблица 7.1 - Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации кожухотрубчатого теплообменника

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Изготовление	Эксплуатация	
1.Повышенная температура воздушной среды	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [23]
2. Повышенный уровень шума	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности [24]
3.Утечка вредных веществ		+	ГОСТ 9572-93 Бензол нефтяной. Технические условия [25]; ГОСТ 14710-78 Тoluол нефтяной. Технические условия (с Изменениями N 1-6) [26]
4. Недостаток необходимого искусственного освещения	+	+	СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение [28]

1. Повышенная температура воздушной среды

Характерной особенностью разрабатываемой установки является размещение оборудования на закрытой площадке. Закрытая площадь не оборудована отопительной системой, однако из-за того, что в помещении располагается теплообменное оборудование, то температура зимой не падает ниже 20 °С, что входит в поле допуска температур в зимний период [24, 25].

В тёплый период года температура варьируется от 20 до 50 °С, в зависимости от погодных условий вне исследуемой закрытой площадки, однако согласно [24, 25] температура воздуха в теплый период должна быть 20 - 22 °С.

С целью защиты персонала от неблагоприятных рабочих условий в теплый период, необходимо реализовать следующие рекомендации:

- установить на закрытой площадке охладительную систему;
- установить на здании, в котором располагается разрабатываемое оборудование, оросительную систему, которая за счет распыления воды будет снижать общую температуру здания;
- при жаркой погоде время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену) должно быть ограничено в соответствии с [26].

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

2. Повышенный уровень шума

Шум на установке ректификации смеси бензол-толуол является следствием работы компрессоров и насосов больших мощностей, а также работы теплообменных аппаратов и дефлегматоров. Требования по допустимому уровню звукового давления, звука и эквивалентных уровней звука выполняются в соответствии с [27], согласно которому уровень звука не должен превышать 85 дБА. Продолжительный повышенный уровень шума является причиной возникновения глухоты, а также головных болей, гормонального расстройства и психических заболеваний.

В качестве средств индивидуальной защиты от шума на рассматриваемой установке следует использовать [27] противошумные шлемы и каски, использование противошумных наушников, непосредственно на разрабатываемой установке, является нерациональным, т.к. усложняет работу обслуживающего персонала и занимает лишнее место в экипировки рабочего. Однако следует отметить, что использование противошумных наушников следует реализовывать в компрессорных станциях, т.к. противошумные шлемы там не справляются со своей задачей.

3. Утечка токсичных и вредных веществ

Сырье процесса ректификации бинарной смеси бензол-толуола, а также получаемые полупродукты продукция являются вредными, взрывопожароопасными веществами, способными образовать в смеси с воздухом взрывопожароопасные и опасные для здоровья концентрации.

Процесс ректификации протекает при сравнительно невысоких температурах (до 120 °С). Ядовитые вещества проникают в организм человека через органы дыхания. Это представляет значительную опасность, поскольку слизистая оболочка носа и дыхательной поверхности легких обладает высокой всасывающей способностью. Продуктами, разрабатываемой установки, являются бензол и толуол, оба вещества относятся к ядовитым (токсичным) веществам.

Таблица 7.2 – Предельно-допустимые концентрации токсичных веществ в воздухе рабочей зоны [27]

Наименование	ПДК рабочей зоны, мг/м ³	Класс опасности
Бензол	10	2
Толуол	100	3

Для предотвращения попадания на кожу вредных химических веществ следует использовать прорезиненные перчатки, химически стойкую одежду и обувь. Для защиты

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

дыхательных путей от действия вредных химических веществ необходимо использовать респираторы или противогазы. Для защиты слизистой оболочки глаз следует использовать специализированные очки.

4. Недостаток необходимого искусственного освещения

Разрабатываемый аппарат находится на закрытой площадке. Т.к. в зимний период времени солнце заходит гораздо раньше, то работник долгое время находится под воздействием искусственного освещения. Ввиду вышесказанного необходимо обеспечить закрытую площадку качественными искусственными источниками света для минимизации недостатка освещения и его низкого качества. Низкое качество источников света и недостаточная освещенность рабочей зоны на рабочем месте развивает утомляемость, что увеличивает вероятность ошибочных действий, а также ухудшает зрение в целом и даже может привести к нервным расстройствам. В таблице 7.3. приведены нормы освещенности рабочей зоны в зависимости от вида деятельности.

Таблица 7.3 – Нормы освещенности рабочей зоны [28]

Наименование помещений/вида деятельности	$E_{экс}$, ЛК	U_0 , не менее	R , не более	R_a , не более	K_n , не более
Производственные процессы с дистанционным управлением	50	0,4	-	20	-
Процессы с частичным применением ручного труда	150		28	40	
Постоянная ручная работа	300	0,6	22	80	20

При недостатке на рабочем месте естественного освещения необходимо выполнить следующие мероприятия [28]:

- уменьшение времени пребывания работника в данном помещении;
- улучшение источников искусственного освещения, а также увеличение их количества;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

94

- анализ степени загрязнения стекол в светопроемах, их чистка и последующие контрольные измерения;
- косметический ремонт помещения с использованием светлых отделочных материалов.

7.3 Экологическая безопасность

Разрабатываемая ректификационная колонна располагается в производственном помещении поэтому вредоносные воздействие на гидросферу и литосферу отсутствуют. Основными загрязнителями атмосферы на производстве являются пары бензола и толуола.

Основные воздействия бензола и толуола на организм человека, а также ПДК данных веществ приведены в разделе 7.2 (таблица 7.2). Повышение экологической безопасности является не только вынужденной, но и необходимой мерой. Ввиду того, что предприятие, для которого разрабатывается ректификационная колонна, проектировалось и строилось еще в СССР, то некоторые аспекты его экологической безопасности уже не удовлетворяют современным требованиям. Поэтому необходимо принять ряд профилактических и технологических мер для повышения экологической безопасности на данном предприятии.

Общие профилактические мероприятия, которые помогут сократить количество вредных выбросов и уменьшить воздействие на атмосферу:

- поддержание в полной технической исправности и герметичности резервуаров и емкостей, технологического оборудования и трубопроводов;
- контроль сварных стыков физическими методами и с использованием специализированного оборудования;
- гидравлическое и пневматическое испытание трубопроводов, резервуаров и оборудования на прочность и герметичность.

Общие технологические мероприятия, которые помогут сократить количество вредных выбросов и уменьшить воздействие на атмосферу:

- покрытие оборудования и трубопроводов антикоррозионной изоляцией;
- система постоянного контроля регламентированных значений технологических параметров, автоматическое регулирование и система ПАЗ при отклонении от заданных параметров для предупреждения аварийных ситуаций.

С целью снижения неорганизованных выбросов вредных веществ в атмосферу через неплотности аппаратов, арматуры, фланцевых соединений необходимо предусмотреть следующие мероприятия:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

95

- применение герметичных аппаратов и трубопроводов под давлением;
- использование системы предохранительных клапанов для защиты аппаратов и трубопроводов от превышения давления;
- непрерывный контроль загазованности в местах максимально возможных выделений углеводородов (опорная обечайка, фланцевое соединение крышки и корпуса аппарата);

периодический контроль максимально разовой ПДК не реже 1 раза в квартал (для веществ III, IV классов опасности), не реже 1 раза в месяц (для веществ II класса опасности).

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Несмотря на то, что разрабатываемый аппарат находится внутри цеха, это не спасет его от следующих ЧС:

- лесные пожары;
- ураган;
- возгорание горюче-смазочных материалов (ГСМ);
- пожаро- взрывоопасные ситуации.

Среди вышеперечисленной наибольшей опасности при эксплуатации ректификационных колонн представляют ЧС, связанные со взрывом и/или пожаром. Взрыв и/или пожар могут возникнуть ввиду различных факторов – удар молнии в колонну, статическое электричество, избыточный нагрев, избыточное давление паров бензола и много другое.

Пожар и/или взрыв представляет особую опасность, так как он грозит уничтожением аппаратуры, инструментов, документов, которые представляют большую материальную ценность, и возникновением пожара в соседних помещениях. А что хуже - может представлять серьезную угрозу жизни и здоровью персонала.

Согласно [29] в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества производственное помещение по степени пожаро-взрывоопасности относится к категории Г, т.е. к помещениям с газообразными пожаро-взрывоопасными веществами. Поэтому необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного, организационного плана.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Т.к. разрабатываемая колонна находится на закрытой площадке, то необходимо предусмотреть следующий ряд мер, направленных на обеспечение тушения пожара:

- обеспечить подъезды к зданию;
- обесточивание электрических кабелей;
- наличие пожарных щитов и ящиков с песком в коридорах, асбестовое полотно;
- наличие гидрантов с пожарными рукавами;
- тепловая сигнализация;
- телефонная связь с пожарной охраной;
- огнетушители: углекислотный ОУ-5 и др.;
- быстрый сброс реакционной массы в огне- взрывозащищенные емкости;
- быстрый сброс давления;
- сброс пожаро- взрывоопасных газов на факельную установку.

Все вышеизложенные методы способствуют минимизации разрушения в случае возникновения ЧС. Предотвращение ЧС возможно в том случае, если все работники будут безукоризненно следовать требованиям безопасности и эксплуатировать оборудование в соответствии с техническим регламентом.

Вывод:

Разрабатываемая ректификационная колонна для разделения бинарной смеси бензол-толуол спроектирована в соответствии с требованиями [30].

Герметичность технологической обвязки узлов исключает загрязнение воздуха рабочей зоны вредными и взрывоопасными веществами в соответствии с [31, 32] и исключает недопустимые тепловыделения.

Разработка комплекса мер, направленных на модернизацию производства в целях улучшения условий труда позволит в значительной мере улучшить условия труда рабочих и сведет к минимуму угрозы возникновения ЧС. При разработке данных мер, крайне важно учитывать не только отечественные разработки и результаты, но и международный опыт, что позволит осуществить совершенствование нормативной правовой базы Российской Федерации в соответствии с международными нормами.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Заключение

Для процесса ректификации бинарной смеси бензол-толуола была разработана колпачковая тарельчатая ректификационная колонна, что и стало результатом выпускной квалификационной работы.

В ходе выполнения ВКР был произведен технологический расчет, результатом которого стало определение числа теоретических тарелок, а также определение конструктивных размеров колонны; механический расчет, результатом которого стало соответствие элементов аппарата критерием надежности. Разработанная ректификационная колонна соответствует всем ГОСТам, ОСТам и т.д., а также обеспечивает заданную производительность.

В ходе выполнения ВКР был определен теплоизоляционный материал (совелит) и его толщина, а также определено гидравлическое сопротивление колонны.

Кроме того, в представленной работе содержатся, такие раздела как раздел «Социальная ответственность» и раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ вредоносных факторов, образующихся при эксплуатации разрабатываемой колонны, а также приведены способы их ликвидации. В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была проведена оценка экономической эффективности, разрабатываемой ректификационной колонны.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Список использованных источников

1. Дытнерского Ю.А. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. - 5-е изд., стереотипное. М.: ООО ИД «Альянс», 2010. – 496с.
2. 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. – 576с.
3. Гусев В.П., Гусева Ж.А. Процессы и аппараты химической технологии. Проектирование ректификационных колонн. Часть 1. Технологический, конструктивный и гидравлический расчеты. Методические указания к курсовому проектированию. – Томск: Изд. ТПУ, 1997. – 32с.
4. Гусев В.П., Гусева Ж.А. Процессы и аппараты химической технологии. Проектирование ректификационных колонн. Часть 2. Основы теории расчета и основные конструкции ректификационных колонн. Методические указания к курсовому проектированию. – Томск: Изд. ТПУ, 2004. – 40с.
5. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: МАШИНОСТРОЕНИЕ, 2008. – 752с.
6. Стабников В.Н. Расчет и конструирование контактных устройств ректификационных и абсорбционных аппаратов. Техника, 1970. - 208с.
7. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Ч. 1. Учеб. пособие. - Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2003. - 118с.
8. Беляев В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч.1: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств / В.М. Беляев, В.М. Миронов. - Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2016. - 313с.
9. ГОСТ Р 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2008. — 26 с.
10. ГОСТ Р 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2008. — 44с.
11. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Изд. 3-е . - М.: Химия, 1978. 280с.
12. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры (с Изменениями N 1, 2). — Изд. офиц. Москва: Издательство стандартов, 1985. — 53с.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

99

13. ГОСТ Р 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2012. — 14с.

14. ГОСТ 33259-2015. Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до PN 250. Конструкция, размеры и общие технические требования (с Поправками). - М.: Стандартинформ, 2016. – 105с.

15. ГОСТ Р 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2008. — 40с.

16. ГОСТ 34233.6-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках. - М.: Стандартинформ, 2018. – 23с.

17. Машины и аппараты химических производств. Под.ред. И.И.Чернобыльского. Изд.3-е перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1975.- 456с.

18. ГОСТ 31838-2012 Аппараты колонные. Технические требования. - М.: Стандартинформ, 2019. – 10с.

19. АТК 24.200.04-90. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры. - М.; Изд-во стандартов, 1990. - 15с.

20. ГОСТ 34233.9-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Аппараты колонного типа. - М.: Стандартинформ, 2018. – 20с.

21. ГОСТ 1255-67. Фланцы с соединительным выступом стальные плоские приварные. Конструкция, размеры и технологические требования. - М.: Изд-во комитет стандартов СССР, 1967. - 12с.

22. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). Статья 354.

23. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.

24. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. - М.: Стандартинформ, 2015.

25. ГОСТ 9572-93 Бензол нефтяной. Технические условия. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004.

26. ГОСТ 14710-78 Толуол нефтяной. Технические условия (с Изменениями N 1-6). - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

100

27. ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. 2018.

28. ГОСТ Р 55710 - 2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. - М.: Стандартиформ, 2016.

29. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Собрание законодательства Российской Федерации, N 30, 28.07.2008, (ч.1), ст.3579.

30. Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. Приказ от 27 декабря 2012 года N 784 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/542627299> (дата обращения 16.04.2020).

31. Ибрагимов Г.З., Артемьев В.Н. Техника и технология добычи и подготовки нефти и газа. – М.: МГОУ, 2005. – 243с.

32. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: ООО «Издательский дом Альянс», 2015. – 753с.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.066212.001 ПЗ

Лист

101

Приложение А

(обязательное)

Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.	
				<u>Документация</u>			
A4			ФЮРА.066212.001 ПЗ	Пояснительная записка	1		
A1			ФЮРА.066212.002 В0	Чертеж общего вида	1		
A1			ФЮРА.066212.002 В0	Чертеж общего вида	1		
				<u>Сборочные единицы</u>			
		1	ФЮРА.066212.0000001	Тарелка колпачковая	12		
				<u>Детали</u>			
		2	ФЮРА.066212.0000002	Фланец 350 мм	2		
		3	ФЮРА.066212.0000003	Патрубок 376x13 мм	2		
		4	ФЮРА.066212.0000004	Крышка 1800-10	2		
		5	ФЮРА.066212.0000005	Фланец 100 мм	2		
		6	ФЮРА.066212.0000006	Патрубок 113x6,5 мм	1		
		7	ФЮРА.066212.0000007	Фланец 1800-0,1-D	1		
		8	ФЮРА.066212.0000008	Патрубок 78x6,5 мм	1		
		9	ФЮРА.066212.0000009	Опорная обечайка 1800-8	1		
		10	ФЮРА.066212.0000010	Фланец 100 мм	1		
		11	ФЮРА.066212.0000011	Патрубок 113x6,5 мм	1		
			ФЮРА.066212.001 ПЗ				Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата			
					102		

Приложение Б

(справочное)

Таблица Б.1 – Временные показатели проведения работ

Номер работ	Минимальная трудоемкость	Максимальная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость	Исполнители работ	Длительность в рабочих днях	Длительность в календарных днях
1	1	1	1	НР	1	1
2	2	4	3	И	3	4
3	5	7	6	И	6	7
4	1	1	1	НР, И	1	1
5	1	1	1	НР, И	1	1
6	18	25	21	И	21	26
7	1	1	1	НР	1	1
8	1	3	2	НР, И	1	1
9	1	1	1	И	1	1
10	15	24	19	И	19	23
11	1	3	2	НР	2	2
12	17	25	20	И	20	24
Итого	64	96	78		77	92