

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

---

**Инженерная школа новых производственных технологий**  
**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
Расчет ситчатой ректификационной колонны для установки разделения бинарной смеси хлороформ-бензол

УДК 66.48.3-932.2.069.835.835:665.738:547.532:547.412.123

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К31	Семенова Надежда Максutowна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Е.В.	к.х.н.		

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель НОЦ Н.М. Кижнера	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Краснокутская Е.А.	д.х.н., профессор		

Томск – 2018 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП 18.03.02 в 2018 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
Р2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
Р3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11, ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
Р4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17, ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Р7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>	<b>Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон</b>
	профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

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

---

**Инженерная школа новых производственных технологий**  
**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 НОЦ Н.М. Кижнера

\_\_\_\_\_ Е.А. Краснокутская  
(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
3-2К31	Семеновой Надежде Максutowне

Тема работы:

<b>Расчет ситчатой ректификационной колонны для установки разделения бинарной смеси хлороформ-бензол</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.04.2018, 3067/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Расчет ректификационной колонны непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол. Производительность колонны по исходной смеси 220 т/год. Содержание легколетучего компонента в массовых %: в исходной смеси 40 %; в дистилляте 90%; в кубе не более 5 %. Исходная смесь поступает в колонну при температуре 80 °С. Расчетное давление в колонне принимаем - 0,1 МПа.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Реферат  Введение  1 Технологическая схема  2 Расчет ректификационной колонны  2.1 Технологический расчет  2.2 Конструктивный расчет  2.3 Прочностной расчет колонны  2.4 Расчет тепловой изоляции  3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение  4 Социальная ответственность  Заключение</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 - Общий вид ректификационной колонны (A1).  Лист 2 - Выносные элементы ректификационной колонны (A1);  Лист 3 - Технологическая схема (A1)  Лист 4 – Экономические показатели (A1)</p>

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Ларионова Екатерина Владимировна
Конструктивно-механический раздел	Беляев Василий Михайлович

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К31	Семенова Надежда Максумовна		

## Реферат

Дипломная работа состоит из пояснительной записки и 4-х листов графического материала формата А1. Пояснительная записка содержит 96 страниц, 7 рисунков, 17 таблиц, 27 источников литературы, 1 приложение.

В дипломном проекте произведен расчет ситчатой ректификационной колонны для установки разделения бинарной смеси хлороформ-бензол.

Произведены технологический и конструктивный расчеты.

Прочностной расчет включает определение толщины стенок обечайки, а также стандартных эллиптических крышки и днища; подбор стандартных штуцеров; расчет укреплений отверстий и фланцевых соединений; расчет тарелок; расчет колонны на ветровую нагрузку; расчет опорной обечайки; расчет толщины изоляции.

Ключевые слова: ректификационная колонна, фланец, ситчатая тарелка, штуцер, хлороформ-бензол.

## Abstract

The degree project consists of explanatory note and graphical format 4 sheets of material A1. Poyasnitelnaya note contains 96 pages, 7 figures, 17 tables, 27 literature sources, 1 appendix.

In the diploma project, the calculation of the sieve distillation column for the separation of the binary mixture of chloroform-benzene.

Produced material, technological, structural and thermal and mechanical calculation.

Strength calculation includes determination of the wall thickness of the shell, as well as standard elliptical covers and bottoms; selection of standard fittings; calculation of fortifications of holes and flange connections; calculation of plates; calculation of the column on the wind load; calculation of the support shell; calculation of the insulation thickness. Keywords: distillation column, flange, sieve tray, fitting, chloroform-benzene.

## Оглавление

Реферат .....	6
Введение.....	9
1 Технологическая схема.....	12
2 РАСЧЕТ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ .....	14
2.1 Технологический расчет.....	14
2.1.1 Материальный баланс колонны и определение рабочего флегмового числа .....	14
2.1.2 Расчет скорости пара и диаметра колонны .....	18
2.1.3 Гидравлический расчет тарелок .....	19
2.1.4 Определение числа тарелок .....	21
2.2 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ.....	23
2.2.1 Расчет высоты колонны .....	23
2.2.2 Расчет диаметров патрубков.....	23
2.3 Прочностной расчет колонны.....	24
2.3.1 Расчет толщины обечайки.....	24
2.3.2 Расчет толщины и выбор стандартной эллиптической крышки и днища.....	26
2.3.3 Расчет укрепления отверстий .....	27
2.3.4 Расчет фланцевых соединений .....	30
2.3.5 Расчет тарелок на прогиб .....	38
2.3.6 Расчет колонны на ветровую нагрузку .....	40
2.3.7 Расчет опорной обечайки аппарата.....	58
2.4 Расчет тепловой изоляции.....	61
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	62
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	75
Заключение .....	92
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	93
Приложение А Графики для нахождения флегмового числа.....	95



## **Введение**

Ректификация является процессом, в ходе которого разделяются гомогенные летучие жидкости, осуществляя двусторонний массообмен и теплообмен между неравновесными жидкой и паровой фазами, обладающими разной температурой и движущимися в противоположном друг другу направлении [1].

Использование ректификации происходит с начала XIX века, она является одним из наиболее важных технологических процессов в таких отраслях промышленности, как спиртовая и нефтяная. На сегодняшний день происходит все более широкое применение ректификации для разных отраслей нефтехимии, хим. технологии, где выделение компонентов в чистом виде играет важную роль.

Для осуществления разделения преимущественно используются колонные аппараты, которые состоят из двух частей – верхней и нижней, каждая из которых представляет собой поверхность контакта фаз между паром и жидкостью, при этом контакт может носить многократный или непрерывный характер. В ходе каждого контакта из жидкости происходит испарение низкокипящего компонента, а из паровой фазы происходит конденсация преимущественно высококипящего компонента, который переходит в жидкость. Обмен компонентами между фазами приводит к тому, что происходит формирование практически чистого низкокипящего компонента. Со стороны таких пар, которые выходят из укрепляющей части колонны (верхняя часть) после конденсации, происходит получение дистиллята и флегмы – жидкости, которая возвращается для того, чтобы орошать колонну и взаимодействовать с парами, поднимающимися в колонне. Снизу происходит удаление жидкости, которая представляет собой практически чистым высококипящим компонентом – кубовым остатком. Чтобы получить восходящий поток пара, происходит испарение части остатка

в нижней части колонны [2]. Для достижения высокой степени разделения однородных жидких смесей на компоненты используется ректификация.

Необходимо отметить периодичность или непрерывность осуществления процессов ректификации при разных давлениях: атмосферное давление, условия вакуума (чтобы разделять смеси высококипящих веществ), давление больше атмосферного (чтобы разделять смеси, которые находятся при нормальных температурах в газообразном состоянии) [2].

Непрерывная ректификация имеет такие преимущества в сравнении с периодической:

1) в ходе процесса работы установки ее условия не меняются, на основании чего представляется возможной установка точного режима, упрощение обслуживания, а также облегчение автоматизации процесса;

2) между операциями отсутствуют простои, в результате чего повышается производительность установки;

3) тепловые расходы более низкие, причем представляется возможным использование остатков тепла для того, чтобы подогревать в теплообменнике исходную смесь.

Перечисленные преимущества приводит к тому, что для крупномасштабных производств характерно применение непрерывной ректификации, применение же периодических процессов ректификации характерно для небольших производств, которые работают неравномерно.

Следует отметить предназначенность ректификационных колонн для того, чтобы осуществлять процессы массообмена в таких отраслях промышленности, как химическая, нефтехимическая и т.п. Диаметр колонных аппаратов составляет 400–4000 мм. При этом царговое исполнение корпуса позволяет осуществлять работу при номинальном давлении до 1,6 МПа, а цельносварное исполнение корпуса – при давлениях до 4 МПа [3].

Принимая во внимание диаметр, для изготовления колонных аппаратов используются разные типы тарелок. Если говорить о колонных аппаратах с

диаметром 400–4000 мм, то для их оснащения используются стандартные контактные и распределительные тарелки, опоры, люки, днища и фланцы. Корпус цельносварного аппарата характеризуется наличием люков, позволяющих обслуживать тарелки.

В результате существенного разнообразия контактных устройств тарельчатого типа возникают трудности с тем, чтобы выбрать их оптимальную конструкцию. При этом, помимо общих требований, для определения некоторых требований может быть использована специфика производства: большой интервал устойчивой работы во время изменения нагрузок по фазам, способность тарелок к работе в среде загрязненных жидкостей, возможность защиты от коррозии и т.п. Чаще всего подобным качествам отводится превалирующая роль, на основании которой происходит определение того, насколько пригодная та или иная конструкция для того, чтобы использовать ее в определенном процессе.

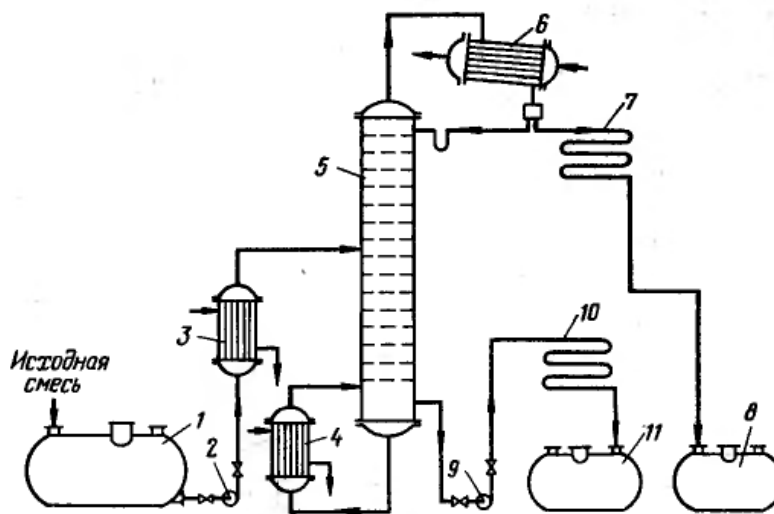
Смесь хлороформ-бензол – это бесцветная жидкость с специфическим запахом. Как и другие органические соединения, эта смесь не агрессивна к применяемым материалам из металла и их сплавов.

Бензол используется в химической промышленности и является производным в производстве лакокрасочных материалов, а также при производстве фармпрепаратов. При взаимодействии бензола с воздухом образуется взрывопожароопасное соединение. Опасна для человека даже небольшая концентрация бензола, так как пары приводят к нарушению в работе органов кроветворения.

Хлороформ бесцветен, не образует взрывопожароопасных соединений с воздухом. Хлороформ используется как полупродукт в производстве фреонов. Применяется в качестве растворителя в специальных лабораториях и в спецтехнике. Например, для производства вакцины против клещевого энцефалита «ЭнеВир» г. Томск. Хлороформ является токсико-наркотическим веществом. Также применяется в качестве анестезиологического продукта [2].

## 1 Технологическая схема

Схема ректификационной установки для разделения смеси изображена на рис.1.



Принципиальная схема ректификационной установки:

1 — емкость для исходной смеси; 2, 9 — насосы; 3 — теплообменник-подогреватель; 4 — кипятильник; 5 — ректификационная колонна; 6 — дефлегматор; 7 — холодильник дистиллята; 8 — емкость для сбора дистиллята; 10 — холодильник кубовой жидкости; 11 — емкость для кубовой жидкости

Рисунок 1. Схема ректификационной установки для разделения смеси

Исходная бинарная смесь хлороформ-бензол поступает в емкость 1, откуда центробежным насосом 2 подается в теплообменник 3, где происходит ее нагрев паром до температуры кипения  $t_k = +80$  °С.

Для постоянного проведения процесса ректификации требуется обязательное условие, чтобы смесь, которая при поступлении встречалась со потоком рабочего пара, который идет навстречу с более низким процентом концентрации высококипящего компонента (ВК) – бензола, чем в исходной поступающей смеси. Из теплообменника 3 смесь хлороформ-бензол поступает на питательную тарелку ректификационной колонны 5, где состав полученной рабочей жидкости и бинарной смеси равны и составляют  $x_F = 40$  % (мас.). Питательная тарелка разделяет колонну на: верхнюю и нижнюю. В верхней (укрепляющей) части пары, которые поднимаются вверх изкокипящим компонентом (НК) – хлороформом, а в нижней (исчерпывающей) происходит

удаление НК. Поток пара, который поднимается по аппарату, обеспечивается парами жидкости кубовой части кипятильником 4.

Необходимо отметить, что исходный состав пара приблизительно приравнивается к составу кубового остатка  $X_w$ , это говорит об его обеднении при помощи НК (хлороформа). Массообмен с жидкостью приводит к обогащению пара при помощи НК. Для того чтобы обогащение происходило более полно, укрепляющая часть колонны орошается частью флегмы, которая образуется в дефлегматор 6. Из дефлегматора происходит вывод части конденсата как готового продукта разделения – дистиллята, который проходит стадию охлаждения в холодильнике 7, после чего отправляется в переходный сборник 8.

Насос 9 из рабочей части куба аппарата постоянно выводит кубовую жидкость – продукт, который обогащается при помощи ВК, затем направляется в теплообменник 10 для охлаждения и в отдельную емкость 11.

Таким образом, в ректификационной колонне осуществляется непрерывный процесс разделения бинарной смеси хлороформ-бензол на дистиллят с высоким содержанием хлороформа и кубовой остаток, обогащенный бензолом.

## 2 РАСЧЕТ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

### 2.1 Технологический расчет

В дипломном проекте необходимо произвести расчет ситчатой ректификационной колонны для установки разделения бинарной смеси хлороформ-бензол.

Максимальная эффективность производства по бинарной смеси составляет 221 т/сутки.

Содержание НК (% по массе):

- в бинарной смеси 40 %;
- в дистилляте 90 %;
- в кубовом остатке 5 %.

Поступление смеси в колонну происходит при  $T=80^{\circ}\text{C}$  и давлении 0,1 МПа.

#### 2.1.1 Материальный баланс колонны и определение рабочего флегмового числа

Введем обозначения:

$G_F$ , кг/с – расход бинарной смеси по массе;

$G_P$ , кг/с – расход дистиллята по массе;

$G_W$ , кг/ – расход кубового остатка по массе [1].

Уравнение материального баланса ректификационной колонны непрерывного действия можно записать в виде:

$$G_F = G_P + G_W;$$

$$G_F x_F = G_P x_P + G_W x_W,$$

где  $x_F$ ,  $x_P$ ,  $x_W$  – содержание бензола, по массе.

$$G_F = 221 \text{ т/сут} = 2,55 \text{ кг/с.}$$

На основании этого можно найти:

$$G_F * x_F = G_P * x_P + G_W * x_W$$

$$2.54 * 0.4 = G_D * 0.9 + G_W * 0.05$$

$$G_W = 1.49 \text{ кг/с}; \quad G_D = 1,05 \text{ кг/с}$$

С целью проведения расчетов, для выражения концентрации используем мольные доли, X.

$M_X=119$  г/моль,  $M_B=78$  г/моль – молярные массы бензола и хлороформа.

$$X = (x_F / M_X) / (x_F / M_X + (1-x_F) / M_B)$$

$$X_F = (39/120) / (39/120 + (100 - 39)/77) = 0,29 \text{ кмоль/кмоль}$$

$$X_P = (89/120) / (89/120 + (100 - 89)/77) = 0,85 \text{ кмоль/кмоль}$$

$$X_W = (3/120) / (3/120 + (100 - 3)/77) = 0,036 \text{ кмоль/кмоль}$$

Показатель относительного мольного расхода питания:

$$F = (x_P - x_W) / (x_F - x_W) = (0,86 - 0,034) / (0,28 - 0,034) = 3$$

Минимальное флегмовое число определяем:

$$R_{\min} = (x_d - y_f) / (y_f - x_f) = \frac{0,85 - 0,29}{0,29 - 0,036} = 4,56,$$

где  $y_f=0,29$  – доля в моллях.

Составы кубовой жидкости и пара приведены в табл.2.1.

Таблица 2.1 Составы кубовой жидкости (x) и пара (y) в мольных % при  $t=80$  °С при атмосферном давлении

Бинарная смесь	x	14	20	27	38	40	51	64	76	99
Хлороформ-бензол	y	18	29	38	48	59	71	79	89	99
	t	77	78,4	76,8	78,4	76,1	75	72,1	67,2	60,3

На основании данных в табл. 2.1, построена кривая равновесия x-y\* (рис.2.1) и t-x-y диаграммы (рис.2.3) в отношении бинарной смеси.

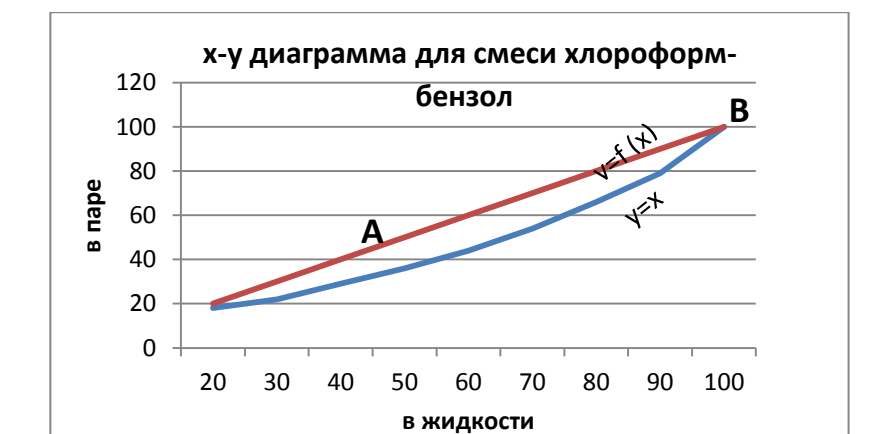


Рисунок 2.1 x-y\* диаграмма для исходной смеси.

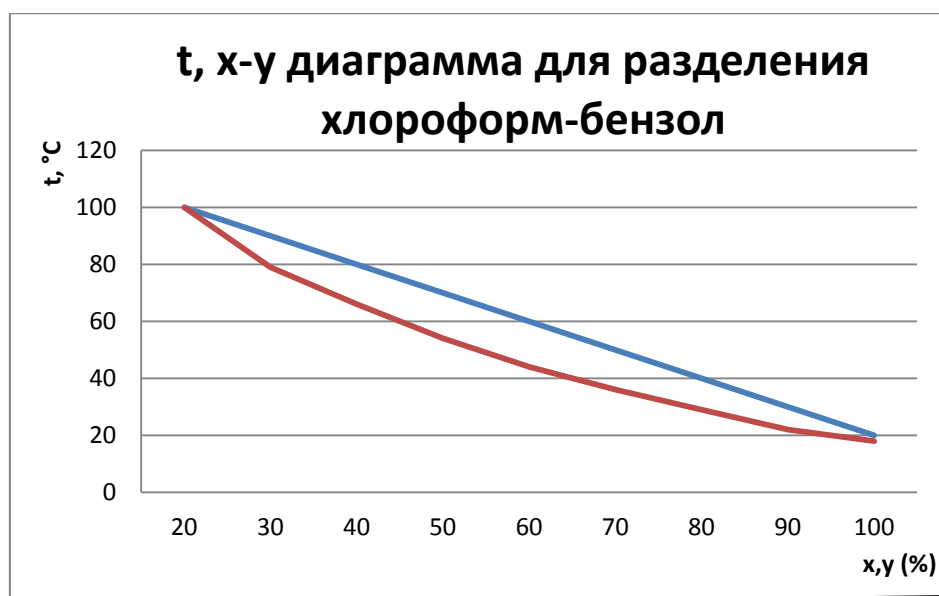


Рисунок 2.2 t-x-y диаграмма для исходной смеси.

Для определения минимального флегмового числа воспользуемся уравнением:

$$R_{\text{MIN}} = (X_P - Y_F^*) / (Y_F^* - X_F);$$

$Y_F^*$  - мольная доля бензола в паре, по данным графика, равна 49% мас.

Для определения минимального флегмового числа используется уравнение:

$$R_{\text{MIN}} = (X_P - Y_F^*) / (Y_F^* - X_F);$$

$$R_{\text{MIN}} = (0,85 - 0,49) / (0,49 - 0,35) = 2,85$$

Определяем коэффициент избытка флегмы  $\beta$ , находя соответствующие флегмовые числа. Используя графическое построение ступеней изменения концентраций между равновесной и рабочей линиями, в пределах диаграммы  $Y-X$  найдем  $N$ . С определениями  $N$  можно ознакомиться в Приложении 1, а результатами в таблице 2.2:

Таблица 2.2 Результаты расчета

$\beta$	1,1	1,3	1,5
R	5.148	6.084	7.02
N	29	18	18
$N(R+1)$	1.78	127	144



По результатам расчета, построим диаграмму  $N(R+1) - R$  (рис. 2.5) и с его помощью высчитаем  $R=6.084$  – число флегмы для работы колонны.

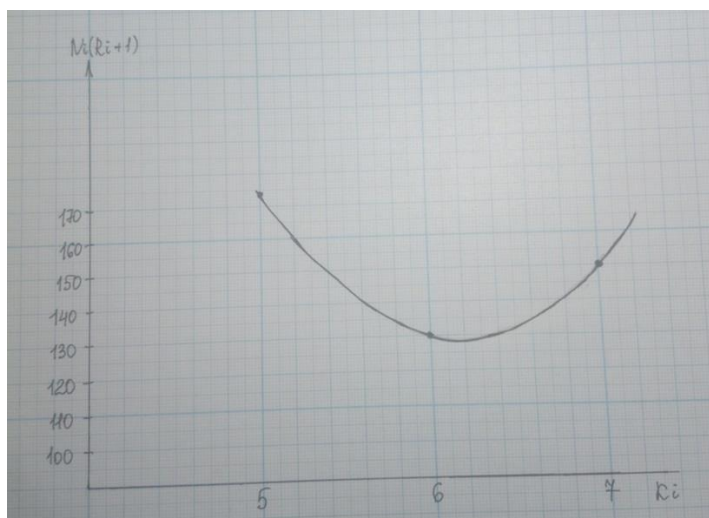


Рисунок 2.3 Определение оптимального флегмового числа

Уравнение рабочих линий:

а) в верхней части колонны

$$y = \frac{R}{R+1} * x + \frac{x_p}{R+1} = 0.858 * x + 0.12$$

б) в нижней части колонны:

$$y = \frac{R+F}{R+1} * x - \frac{F-1}{R+1} * x_w = 1.282 * x - 0.0093$$

Показатель средних концентраций жидкости:

$$X_{\text{ср. в}} = (X_p + X_f) / 2 = (0,28 + 0,84) / 2 = 0,53 \text{ кмоль/кмоль исходной смеси};$$

$$X_{\text{ср. н}} = (X_f + X_w) / 2 = (0,28 + 0,036) / 2 = 0,14 \text{ кмоль/кмоль исходной смеси.}$$

Для нахождения средних концентраций пара воспользуемся уравнением рабочих линий:

$$y_{\text{ср. в}} = 0,855 * x + 0,12 = 0,858 * 0,58 + 0,12 = 0.617$$

$$y_{\text{ср. в}} = 1,282 * x - 0.0093 = 1.282 * 0.17 - 0.0093 = 0.208$$

## 2.1.2 Расчет скорости пара и диаметра колонны

Для определения предельной фиктивной скорости пара в верхней и нижней частях колонны  $w_{п}$ , при которой можно говорить о захлебывании колонн, используется уравнение:

$$w_{п} = c \sqrt{\rho_{ж}/\rho_{у}}$$

где  $\rho_{с}$ ,  $\rho_{г}$  — усредненные показатели  $\rho$  жидкости и пара соответственно,  $\text{кг/м}^3$ ;

Осуществим расчет плотности жидкости  $\rho_{с\text{ в}}$ ,  $\rho_{с\text{ н}}$  и пара  $\rho_{г\text{ в}}$ ,  $\rho_{г\text{ н}}$  в укрепляющей и исчерпывающей частях аппарата, средние температуры в них  $t_{в}$  и  $t_{н}$  соответственно. Для определения средних температур паров воспользуемся диаграммой  $t-x$ ,  $y$ :

Если  $y_{ср.в} = 0,671$   $t_{в} = 75$  °С; Если  $y_{ср.н} = 0,208$ ;  $t_{н} = 79$  °С, то получим:

$$\rho_{у\text{ в ср}} = M'_{в} T_0 / (22,4(T_0 + t_{в.ср}));$$

$$\rho_{у\text{ н ср}} = M'_{н} T_0 / (22,4(T_0 + t_{н.ср})).$$

$$\rho_{у\text{ в}} = 103,3 * 273 / (22,4 * 348) = 3,61 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{у\text{ н}} = 86,52 * 273 / (22,4 * 352) = 3 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{у} = (\rho_{у\text{ в}} + \rho_{у\text{ н}}) / 2 = (3,61 + 3) / 2 = 3,3 \text{ кг/м}^3$$

Определяем средние значения хлороформа и бензола [4]:

$$\rho_{х} = 1411 \text{ кг/м}^3, \rho_{б} = 815 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{х} = (\rho_{х+} + \rho_{б}) / 2 = (1411 + 815) / 2 = 1113 \text{ кг/м}^3$$

Определим скорость, с которой пар движется в колонне. Используем данные из источника «Колонные аппарат» [5], примем, что расстояние от одной тарелки до второй равно 500 мм. Используя график, найдем  $c$  для тарелок  $c = 0,0032$  [4].

$$w = 0,0032 \cdot \sqrt{1112 / 3,318} = 0,59 \text{ м/с}$$

Показатель объемного расхода пара, который проходит через колонну при температуре  $t_{ср} = (75 + 79) / 2 = 77$  °С:

$$V = (G_p(R + 1) * 22,4 * T_{св} * \rho) / (M_p * 3600 * 273)$$

$$V = (3780 * (6,084 + 1) * 22,4 * 350 * 1003) / (113 * 273 * 3600) = 1,95 \text{ м}^3/\text{с}$$

где  $M_p = 0,845 * 117 + 77 * 0,143 = 12 \text{ кг/кмоль}$

$$\text{Диаметр колонны: } D = \sqrt{V/(0,782 \cdot w)} = \sqrt{1,96/(0,782 \cdot 0,59)} = 2,02$$

По данным [5], возьмем диаметр  $D=1800$  мм.

Следовательно, скорость пара в аппарате:

$$W=V/(0.785 \cdot D^2)=1.95/(0.785 \cdot 1.8^2)=0.8 \text{ м/с}$$

### 2.1.3 Гидравлический расчет тарелок

Так как используем ситчатые тарелки, диаметр отверстий принимаем 4 мм, высоту сливной перегородки 40 мм, показатель свободного сечения тарелки – 8 % от общей ее площади.

Осуществим расчет гидравлических сопротивлений тарелки:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сух}} + \Delta P_{\text{б}} + \Delta P_{\text{пж}}$$

а) верхняя часть колонны:

Показатель гидравлического сопротивления сухой тарелки:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \xi * w^2 * \rho_{\text{п}} = 1,82 * 10^2 * \frac{3,617}{2} = 320 \text{ Па,}$$

где  $\xi = 1,82$  – коэффициент сопротивления неорошаемых ситчатых тарелок, свободное сечение составляет 7 -10%;

$w = 0,8/0,08 = 10$  м/с – скорость, с которой пар проходит через отверстия ситчатой тарелки.

Сопротивление, которое определено силой поверхностного натяжения  $\Delta P_{\text{б}} = 4 * \sigma / d_0 = 4 * 22,3 * 10^{-3} / 0,002 = 23,1$  Па,

где  $\sigma = 22,3 * 10^{-3}$  Н/м –поверхностное натяжение при  $T = 77^{\circ}\text{C}$  в укрепляющей части аппарата (для обоих веществ показатель практически идентичен) .

$d_0 = 0,004$  – диаметр отверстий тарелки.

Для поиска периметра  $\Pi$  сливной перегородки воспользуемся системой уравнений. Для поиска показателя ширины сливной перегородки  $b$  для тарелки, воспользуемся системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Pi^2}{2} + (R - b)^2 = R^2 \\ 0,1\pi R^2 = 2/3\Pi b \end{array} \right\}$$

В результате решения системы уравнений будет получено значение

$$b=0,289 \text{ м}; \quad \Pi=1,32 \text{ м.}$$

Слой над сливной перегородкой имеет высоту:

$$\Delta h = \left( \frac{V_{\text{ж}}}{1,85 \cdot \Pi \cdot R} \right)^{2/3} = (0,00557 / (1,85 \cdot 1,32 \cdot 0,5))^{2/3} = 0,0275 \text{ м,}$$

где  $V_{\text{ж}} = G_p \cdot R \cdot M_{\text{ср}} / (M_p \cdot \rho_{\text{ж}})$  – объемный расход жидкости

$$V_{\text{ж}} = 3780 \cdot 6,084 \cdot 101 / (3600 \cdot 104 \cdot 1113) = 0,00557 \text{ м}^3/\text{с}$$

$M_{\text{ср}} = 0,58 \cdot 119 + 0,72 \cdot 78 = 101 \text{ кг/кмоль}$  – средняя молярная масса жидкости.

Показатель высоты парожидкостного слоя:

$$\text{Высота парожидкостного слоя: } h_{\text{пж}} = h_{\text{п+}} = 0,04 + 0,0275 = 0,0675 \text{ м}$$

$$\Delta P_{\text{пж}} = 1,3 \cdot h_{\text{пж}} \cdot \rho_{\text{пж}} \cdot g \cdot R = 1,3 \cdot 0,0674 \cdot 0,5 \cdot 1112 \cdot 9,81 = 477 \text{ Па,}$$

где R- равно 0,5.

Показатель общего гидравлического сопротивления тарелки в укрепляющей части аппарата:

$$\Delta P = 328 + 21,5 + 479 = 828,5 \text{ Па.}$$

б) исчерывающая часть аппарата:

$$\Delta P_{\text{сyx}} = \xi \cdot w^2 \cdot \rho_{\text{п}} / 2 = 1,82 \cdot 10^2 \cdot 3 / 2 = 273 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\sigma} = 4 \cdot \sigma / d_0 = 4 \cdot 20,5 \cdot 10^{-3} / 0,004 = 21,5 \text{ Па,}$$

где при 79 °C  $\sigma = 20,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$

$$V_{\text{ж}} = \left( G_p \cdot \frac{R}{M_p} + \frac{G_F}{M_F} \right) \cdot \frac{M_{\text{ср}}}{\rho_{\text{ж}}}$$

$$V_{\text{ж}} = \left( 3780 \cdot \frac{6,084}{113} + \frac{9144}{90,46} \right) \cdot \frac{85}{1113} = 0,00645 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$\text{где } M_F = 0,304 \cdot 119 + 0,696 \cdot 78 = 90,46 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

$$M_{\text{ср}} = 0,17 \cdot 119 + 0,83 \cdot 78 = 85 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

$$\Delta h = \left( \frac{V_{\text{ж}}}{(1,85 \cdot \Pi \cdot R)} \right)^{2/3} = \left( \frac{0,00645}{1,85 \cdot 1,32 \cdot 0,5} \right)^{2/3} = 0,0303 \text{ м}$$

$$h_{\text{пж}} = h_{\text{п+}} + \Delta h = 0,04 + 0,0303 = 0,0703 \text{ м}$$

$$\Delta P = 1,3 \cdot h_{\text{пж}} \cdot \rho_{\text{пж}} \cdot g \cdot R = 1,3 \cdot 0,0703 \cdot 0,5 \cdot 1113 \cdot 9,81 = 499 \text{ Па}$$

Показатель общего гидравлического сопротивления тарелки в исчерывающей части аппарата:

$$\Delta P = 273 + 21,5 + 499 = 793,5 \text{ Па}$$

Осуществим проверку того, происходит ли соблюдение расстояния между тарелками  $h=0,3$  м, необходимое для нормальной работы тарелки  $\lambda \geq 1,9 * \Delta p / (\rho_{\text{жид}} * g)$ .

Показатель гидравлического сопротивления  $\Delta p$  у тарелок верхней части выше чем у тарелок нижней части :

$$1,9 * \frac{\Delta p}{\rho_{\text{жид}}} * g = 1,9 * \frac{828,5}{1112 * 9,8} = 0,14, \text{ следовательно, удовлетворяет}$$

Убедимся, что тарелки работают равномерно. Осуществим расчет минимальной скорости пара в отверстиях  $w_0$ , достаточной для того, чтобы работа тарелки осуществлялась всеми отверстиями:

$$w_0 = 0,67 * \sqrt{\frac{g * h_{\text{пж}} * \rho_{\text{ж}}}{\xi * \rho_{\text{н}}}}$$

$$w_0 = 0,67 * \sqrt{\frac{9,8 * 1113 * 0,0703}{1,82 * 3,3}} = 7,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

В отношении рассчитанной скорости  $7,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  можно говорить о том, что тарелка будет работать всеми отверстиями.

#### 2.1.4 Определение числа тарелок

Воспользуемся диаграммой у-х (Приложение 2 график 3) для поиска числа ступеней в верхней части колонны  $n_{\text{т}}' = 6$ , в нижней  $n_{\text{т}}'' = 12$ , общее число ступеней – 18 ступеней.

Для расчета числа тарелок воспользуемся уравнением:  $n = n_{\text{т}} / \eta$ ;

Чтобы определить число среднего коэффициента полезного действия тарелок  $\eta$ , найдем  $\alpha = P_{\text{х}} / P_{\text{б}}$ , а также осуществим расчет динамического коэффициента вязкости исходной смеси  $\mu$  при том, что средняя температура в колонне составляет  $77^{\circ}\text{C}$ .

При температуре смеси  $+80^{\circ}\text{C}$ , насыщенный пар хлороформа будет иметь давление  $P_{\text{х}} = 1287$  мм.рт.ст, а насыщенный пар бензола  $P_{\text{б}} = 683$  мм.рт.ст, следовательно,  $\alpha = 1287 / 683 = 1,88$ .

При 77°C показатель динамического коэффициента вязкости бензола, как и хлороформа, находится на уровне 0,35 сП. Следовательно, значение динамического коэффициента вязкости исходной смеси будет равно  $\mu = 0,35$  сП.

В данном случае  $\mu\alpha = 1,88 * 0,35 = 0,659$ ; По диаграмме [4, с323] найдем  $\eta = 0,52$ ; Расстояние пути рабочей жидкости на ситчатой тарелке  $L = D - 2 * b = 1,9 - 2 * 0,286 = 1,21$  м. По данным графика [4] найдем показатель поправки на длину пути  $\Delta = 0,17$ . Для поиска среднего коэффициента полезного действия тарелок воспользуемся формулой:

$$\eta_L = \eta(1 + \Delta) = 0,52 * (1 + 0,17) = 0,608$$

Для расчета КПД тарелки может быть использована критериальная формула:

Осуществление предварительного расчетного значения  $D_{ж}$ :

$$D_{ж} = 7,5 * 10^{-11} * \frac{\mu^{0,5} * T}{\mu_{ж} * U^{0,6}} = 7,5 * 10^{-11} * \frac{90,46^{0,5} * 349}{0,35 * 186^{0,6}} = 2,98 * 10^{-9} \text{ м}^2 / \text{с},$$

где  $U = 65,41 + 1176 = 182$ ,  $\mu_{ж} = 0,33$  сП;  $T = 273 + 78 = 351$  К;

Для расчета применяем безразмерные величины:

$$K_1 = \frac{v * h_{п} * \rho_{п}}{S_{св} * \rho_{ж} * D_{ж}} = \frac{0,58 * 0,004 * 3,317}{0,08 * 1113 * 3 * 10^{-9}} = 2,88 * 10^5$$

$$K_2 = \frac{6}{w * \rho_{ж} * D_{ж}} = \frac{(0,304 * 21,3 + 0,696 * 19) * 10^{-3}}{0,8 * 1113 * 3 * 10^{-9}} = 0,73 * 10^4, \quad )$$

$S_{св}$  — является относительной площадью ситчатой тарелки;

$$U = U_{ж} + U_{мн} = \frac{14,6 + 3,6 + 3 * 24,6}{1385,5} + \frac{6 * 14,6 + 6 * 3,8 - 15}{815} = 182$$

Показатель среднего КПД тарелки:

$$0\eta_0 = 0,068 * K_1^{0,1} * K_2^{0,115} = 0,068 * (2,88 * 10^5)^{0,1} * (0,73 * 10^4)^{0,115} = 0,664$$

Это значение близко к  $\eta_l = 0,608$ ;

Верхняя часть колонны содержит количество тарелок равное:  $n' = n_T / n_c = 6 / 0,608 = 9$ . Нижняя часть  $n'' = n_T'' / n_c = 12 / 0,608 = 19$ ;

Всего тарелок  $n = 28$ , если брать с запасом, то  $n = 30$ , из них в верхней части 10, в нижней 20 тарелок.

## 2.2 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ

### 2.2.1 Расчет высоты колонны

$$H_T = \frac{(n-1)}{h} = \frac{30-1}{0.3} = 8.7 \text{ м}$$

Принимаем высоту кубовой части 2 м и верхней части 1,5 м.

Общая высота колонны:  $H=8.7+1.5+2=12.2$  м

### 2.2.2 Расчет диаметров патрубков

Для осуществления присоединения трубопроводов к сосудам и аппаратам используются вводные трубы и штуцеры. Для аппарата принимаем штуцера с приварным плоским фланцем и тонкостенным патрубком.

Для определения диаметра штуцеров воспользуемся уравнением:

$$d = \sqrt{\frac{4G}{\pi \rho w}}$$

где  $w$  - скорость, задаем  $w = 1$  м/с для жидкой фазы, для паровой – 10 м/с.

Штуцер, который предназначен для подачи бинарной смеси:

$$d1 = \sqrt{4 \times 2,54 / (1024 \times 1 \times 3,14)} = 0,056 \text{ м}$$

где  $\rho = 0,303 \times 1413 + 0,698 \times 853 = 1026$  кг/м<sup>3</sup>

Согласно ГОСТ 12820-80 [6] задаем штуцер с  $D_y = 80$  мм и к нему необходимое фланцевое соединение.

Штуцер, который предназначен для подачи флегмы:

$$d5 = \sqrt{4 \times 1,05 \times 6,084 / (3,14 \times 1330 \times 1)} = 0,078 \text{ м}$$

где  $\rho = 0,853 \times 1412 + 0,144 \times 853 = 1327$  кг/м<sup>3</sup>

В соответствии [6] принимаем штуцер с  $D_y = 80$  мм и к нему необходимое фланцевое соединение.

Штуцер, который предназначен для вывода рабочих паров дистиллята:

$$d2 = \sqrt{4 \times 1,95 / (3,3 \times 10 \times 3,14)} = 0,274 \text{ м}$$

В соответствии [6] принимаем штуцер с  $D_y = 300$  мм и к нему необходимое фланцевое соединение

Штуцер, который предназначен для подачи паров кубового остатка:

$$d3 = \sqrt{4 * 1,95 / (3,3 * 10 * 3,14)} = 0,287 \text{ м.}$$

В соответствии [6] принимаем штуцер с  $D_y = 300$  мм и к нему необходимое фланцевое соединение.

Штуцер, который предназначен для вывода кубовой остатка:

$$d4 = \sqrt{4 * 1,49 / (873 * 1 * 3,14)} = 0,002 \text{ м}$$

где  $\rho = 0,035 * 1412 + 0,966 * 853 = 874 \text{ кг/м}^3$ .

В соответствии [6] принимаем штуцер с  $D_y = 100$  мм и к нему необходимое фланцевое соединение.

Задаем необходимые значения штуцеров по [6].

Таблица 2.3 Сводная таблица фланцев

Наименование фланца	$D_y$ , мм	ДФ	м, кг
Штуцер, необходимый для подачи бинарной смеси	100	184	1,81
Штуцер, необходимый для подачи флегмы	80	184	1,81
Штуцер, необходимый для подачи паров кубового остатка	300	323	10,5
Штуцер, необходимый для вывода кубовой остатка	80	180	2,07
Штуцер, необходимый для вывода паров дистиллята	100	323	11,3
Люк-лаз	500	800	18

## 2.3 Прочностной расчет колонны

### 2.3.1 Расчет толщины обечайки

Материал колонны выбираем учитывая стойкость от коррозии материала. Скорость коррозионного повреждения металла не более 0,1 мм/год.

Выбираем сталь 08X18H10T с составом:

Содержание углерода – до 0,08%; содержание кремния – до 0,8%; содержание марганца до 1,5 %; содержание хрома до 18%; содержание никеля



до 10%; содержание титана до 0,5%. При этом примесей: сера до 0,03 %; фосфор до 0,033%.

Коэффициент теплопроводности составляет 16,4 Вт/м к.

Заданные параметры:

$P=0,1$  МПа – рабочее давление колонны;

$T=80^{\circ}\text{C}$  – температура бинарной смеси;

$P=0,04$  мм/год – скорость коррозии стали 08X18H10T;

$Y=15$  лет – срок эксплуатации;

$$v = 8700 \cdot 3.14 \cdot \left(\frac{1800}{2}\right) \cdot \left(\frac{1800}{2}\right) = 2.213 \cdot 10^{10} \text{ м}^3 - \text{объем колонны.}$$

Делаем выбор стыкового стального шва, который выполняется вручную с одной стороны. Контролируемые швы от общей длины составляют 100 %.

$\phi_p=0,9$  – коэффициент прочности сварных соединений;

$g=10 \text{ м/с}^2$  – ускорение;

$D= 1800$  мм –  $D$  внутренний;

$l= 8700$  мм –  $h$  обечайки;

$H=1220$  мм – общая  $h$  аппарата.

В соответствии с НТД [7] задаем необходимые коэффициенты запаса прочности и устойчивости:

$\eta = 1$  – коэффициент запаса прочности;

$n_T=1.1$  – коэффициент прочности при гидроиспытании;

$R_{02}=234$  МПа – предел текучести стали;

$\sigma_{20}=157$  МПа;

$\sigma_t = 162$  МПа;

Давление при гидравлических испытаниях:

$$P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} = 0.278 \text{ МПа}$$

$$P_p = P_0 + \rho \cdot g \cdot H = 0,1 + 1000 \cdot 10 \cdot 12,2 = 0,234 \text{ МПа}$$

*Вычисление толщины стенки при гидроиспытании и при расчетном давлении.*

Вычисляем толщину стенки обечайки:

$$s_p = \max \left[ \frac{P_p \cdot D}{(2\varphi_p \cdot \sigma_t - P_p)} \cdot \frac{P_{\text{пр}} \cdot D}{(2\varphi_p \cdot \sigma_{\text{н}} - P_{\text{пр}})} \right] = 1,467 \text{ мм}$$

$c1 = Y \cdot \Pi = 0.6 \text{ мм}$  – сумма всех прибавок к вычисленным значениям, мм;

$$c3 = 0,00 \quad c1 = \text{Ceil}(c2 + c3) = 1 \text{ мм}$$

$c1$ - прибавка , которую необходимо учитывать при износе в процессе, мм;

$c2$ - прибавка, которая необходима для учета минусового допуска в производственном процессе, мм.

$$S_{\text{ц0}} = \text{Ceil}(s_p + c) = 3 \text{ мм}$$

$$s_p + c = 2.467 \text{ мм}$$

$$S_{\text{ц0}} = 3 \text{ мм}$$

Задаемся толщиной стенки обечайки:  $S_{\text{ц0}} = 10 \text{ мм}$ . Обечайка цилиндрическая.

### **2.3.2 Расчет толщины и выбор стандартной эллиптической крышки и днища**

$$s_p = \max \left[ \frac{P_p \cdot D}{(2\varphi_p \cdot \sigma_t - 0.5P_p)} \cdot \frac{P_{\text{пр}} \cdot D}{(2\varphi_p \cdot \sigma_{\text{н}} - 0.5P_{\text{пр}})} \right] = 1,467 \text{ мм} \quad (42)$$

$c1 = Y \cdot \Pi = 0.6 \text{ мм}$  – сумма прибавок к расчетным толщинам стенок, мм

$$c_2 = 0 \quad Ceil(s_p + c) = 3 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки стандартной эллиптической крышки и днища

$$S_{\text{КиД}} = 10 \text{ мм}$$

Для выбора стандартных стальных отбортованных днища и крышки используется ГОСТ 6533-68 [8]. По ГОСТ 6533-68 выбираем стандартные отбортованные эллиптические днища и крышки (рис.2.5), параметры которых сведены в табл.2.4.

Таблица 2.4 Стандартные габариты для днища эллиптического отбортованного стального [8].

$D_B$ , мм	$h_B$ , мм	$F_B$ , м <sup>3</sup>	$V \cdot 10^2$ , м <sup>2</sup>	$H$ , мм	$m$ , кг
1800	500	3,52	878	39	298

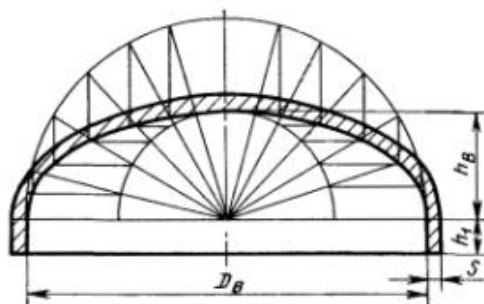


Рис. 2.4 Днище эллиптическое отбортованное колонны

### 2.3.3 Расчет укрепления отверстий

Заданные параметры:

$D_{\text{внутр}}$ :  $D=1800$  мм;

Давление, необходимое для расчетов:  $P_r=0.233$  МПа;

Температура, необходимая для расчетов:  $t_R=80$  °С;

Примем толщину стенки обечайки для расчетов:  $s=10$  мм;

Задаем  $L$ , от центра отверстия до оси:  $x=0$  мм;

$D_{\text{отверстия}}$ :  $d1=500$  мм;

Параметры штуцеров:

толщины стенок:  $s_{1\text{внутренняя}} = 10$  мм;  $s_{3\text{внешняя}} = 10$  мм;

длина штуцеров :  $l_{1\text{внешняя}} = d_1 * 0.65 = 325$  мм;  $l_{3\text{внутренняя}} = 10$  мм;

накладное кольцо:  $l_{\text{длина}} = 0.5 * d_1$ ;  $s_2 = s$ ;

$c = 1$  мм;

$\varphi = 0.9$ ;

$\sigma_{20} = 157$  МПа;

$\sigma_{d1} = \sigma_d$ ;

$\sigma_{d2} = \sigma_d$ ;

$\sigma_{d3} = \sigma_d$ .

*Вычисление необходимого укрепления отверстия в оболочке:*

Выбираем цилиндрический тип оболочки:

$$d_{1p} = \frac{(d_1 + 2 \cdot c)}{\sqrt{1 - \left(2 \cdot \frac{x}{D_p}\right)^2}} = 502 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки обечайки:

$$s_p = \frac{P_r \cdot D_p}{4 \cdot \varphi \cdot \sigma_d - P_r} = 1.495 \text{ мм}$$

Принимаем толщину для первого отверстия:

$$s l_p^1 = \frac{P_r \cdot (d_1 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{d1} - P_r} = 0.41 \text{ мм}$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{11p} = \min \left[ l_1 \cdot \sqrt{(d_1 + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} \right] = 67.216 \text{ мм}$$

$$l_{31p} = \min \left[ l_3 \cdot 0.5 \sqrt{(d_1 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - 2 \cdot c)} \right] = 10 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{31p} = \min \left[ l_2 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right] = 184.932 \text{ мм}$$

Примем ширину зоны укрепления в днищах и обечайках:

$$l_{1p} = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 127.279 \text{ мм}$$

Соотношение допусковых параметров напряжений для штуцера:

$$x1 = \min\left(1 \cdot \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d}\right) x1 = 1,0$$

Соотношение для кольца:

$$x2 = \min\left(1 \cdot \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d}\right) x2 = 1,0$$

Соотношение для  $s_{1\text{внутренняя}}$  штуцера:

$$x3 = \min\left(1 \cdot \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d}\right) x3 = 1$$

Д одиночного отверстия, без доп.укрепления :

$$dl_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 50.912 \text{ мм}$$

Д одиночного отверстия, без доп.укрепления при излишней толщины стенки колонны:

$$dl_o = 2 \cdot \left[\left(\frac{s-c}{s_p}\right) - 0.8\right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 1.329 \cdot 10^3 \text{ мм}$$

Проверим, необходимо ли укрепление отверстий:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d1_o < d1 \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tip = "цилиндрическая оболочка"

$$\text{Prov} = \text{"Укрепление не требуется"}$$

Проверим необходимость выполнения условия для укрепления:

$$A_{10} = l_{10p} \cdot (s_2 - sl_p - c) \cdot x1 = 576.923 \text{ мм}$$

$$A_{20} = l_{20p} \cdot s_1 \cdot x3 = 1.851 \cdot 10^3 \text{ мм}$$

$$A_{30} = l_{30p} \cdot (s_4 - c - c) \cdot x2 = 79 \text{ мм}$$

$$Al_{p,c} = l_{2p} \cdot (s - s_p - n) = 955.252 \text{ мм}$$

$$A1_p = 0,5 \cdot (d1_p - d1_{op}) \cdot s_p = 337.15 \text{ мм}$$

$$\text{Sumtal} = A_{11} \cdot x1 + A_{21} \cdot x2 + A_{31} \cdot x3 + A1_{p,c} = 3.461 \cdot 10^3 \text{ мм}$$

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } \text{Summa1} \geq A1_p \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

По результатам вычислений, следует что отверстия  $D \leq 50,913$  мм в усилении не нуждаются. По нашим расчетам  $D_{\text{один.отверстия}} = 1.329 \cdot 10^3$  мм при условиях, когда толщины стенки обечайки превышает заданное значение, то отверстия не укрепляются путем усиления.

### 2.3.4 Расчет фланцевых соединений

Производится по ГОСТ Р 52857.4-2007 [9].

Заданные параметры:

Фланец:

$$D_{\text{внутр}} = 500 \text{ мм}; D_{\text{внешн}} = 800 \text{ мм};$$

$$D_{\text{окружности}} \text{ в месте расположения болтов: } D_6 = 700 \text{ мм};$$

$$\text{Толщина } h = 80 \text{ мм};$$

Прокладка:

$$D_{\text{НК}} = 550 \text{ мм};$$

$$b_{\text{П}} = 16 \text{ мм};$$

$$h_{\text{П}} = 2 \text{ мм};$$

Втулка с приварным встык фланцем, место сварки с цилиндрической обечайкой, толщина:  $S_0 = 10$  мм;

Болты:

$$d_{\text{наруж}} = 20 \text{ мм};$$

$$\text{Количество болтов: } n = 20;$$

$$P_{\text{расч}} = 0,234 \text{ МПа};$$

$$M = 0 \text{ Н*мм};$$

$$F = 0 \text{ Н};$$

$$c_0 = 1 \text{ мм - коррозия};$$

$T_{расч}=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Материал, из которого изготовлены обечайка и фланцевые соединения – принимаем сталь 08X18H10T, материал болтов принимаем сталь 35X, материал прокладки примем паронит (паронит общего назначения или ПОН). Принимаем фланцы с гладкой уплотнительной поверхностью, работающие под давлением до 1.65 МПа (рис.2.6).

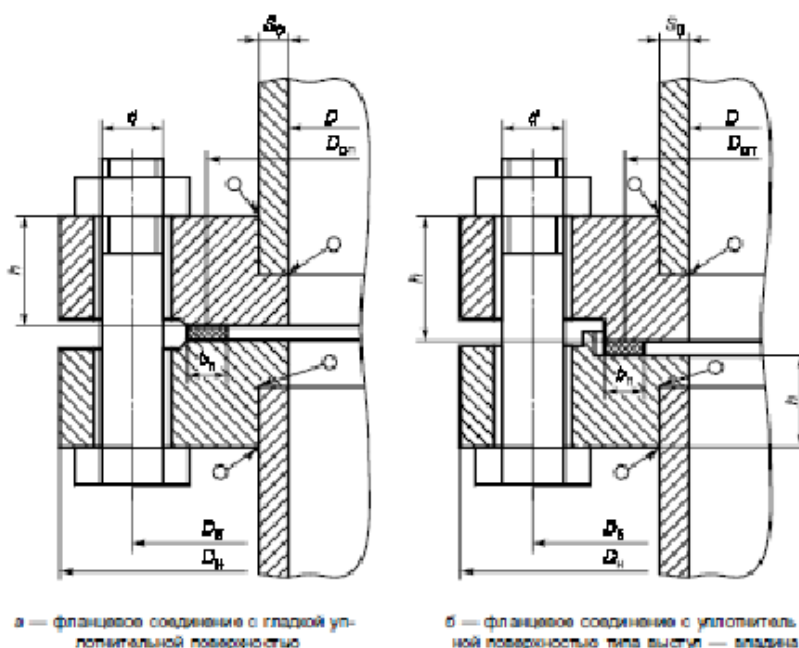


Рисунок 2.5 Фланцевые соединения с плоскими фланцами

*Исходные данные:*

$T_{расчетная}$  плоских фланцев, которые не изолированы:

$tф=0,95\text{ t}$ ;  $tф=75,9$

$tб=0,85\text{ t}$ ;  $tб=68$

Предельно допустимые значения напряжения для болтов, изготовленных из стали марки 35X:

В рабочем состоянии:

$t=(\begin{matrix} 99 \\ 199 \end{matrix})^{\circ}\text{C}$ ;  $\sigma=(\begin{matrix} 229 \\ 226 \end{matrix})\text{ МПа}$ ;

$\sigma_{д.б.}=231,5\text{ МПа}$ .

Предельно допустимое напряжение для болтов при температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\sigma_{20\text{болтов}}=229 \text{ МПа}$$

Значение модуля упругости болтов при  $t_{\text{испытания}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$E_{20\text{б}} = 2.20 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Зная коэффициент линейного расширения для стали марки 35Х, при температуре в интервале от 20 до 100  $^\circ\text{C}$ :

$$\alpha_{\text{болтов}} = 1.4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Максимальные допустимые напряжения для фланцевых соединений и обечаек из стали марки 08Х18Н10Т:

$$t = \begin{Bmatrix} 20 \\ 80 \end{Bmatrix} \quad \sigma = \begin{Bmatrix} 168 \\ 156 \end{Bmatrix}$$

$$\sigma = \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_{\text{ф}}), 0.5) = 156.5 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливаются из листового проката:  $\eta=1$

$$\sigma_{\text{д.ф.}} = \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{\text{д.ф.}} = 156,5 \text{ МПа}$$

Значение модуля упругости для стали марки 08Х18Н10Т  $t_{\text{рабочей}}$

$$E = 1.98 \cdot 10^4 \text{ МПа}$$

Максимальное допустимое напряжение для стали 08Х18Н10Т при температуре равной 20  $^\circ\text{C}$ :

$$\sigma_{20} = 157 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{д}20} = \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\text{д}20} = 156 \text{ МПа}$$

Значение модуля упругости для 08Х18Н10Т при  $t_{\text{испытания}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$E_{20} = 2,16 \cdot 10^4 \text{ МПа}$$

Значение коэффициента линейного расширения 08Х18Н10Т при температуре в интервале от 20 до 100  $^\circ\text{C}$ :

$$\alpha_f = 15.8 \cdot 10^{-5} \text{ 1/К}$$

Наиболее предпочтительная ширина прокладки:

$$b_{\text{н}} = 12 \text{ мм}$$

$$b_0 = \text{Ceil}(3.8 \cdot \sqrt{b_{\text{п}}}) \cdot 1 = 12 \text{ мм}$$

Характеристики для паронита по ГОСТ 481-80 [10].

$$m=2.5; \quad q_{\text{обж}}=20 \text{ МПа}; \quad K_{\text{обж}}=0.9; \quad E_{\text{п}}=200 \text{ МПа}$$



Приложенная сила, которая необходима для того, чтобы затянуть прокладку при затяжке:

$$P_{\text{обж}} = 0.55\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot t \cdot |P| \quad P_{\text{обж}} = 6.039 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Приложенная сила, для создания герметичности на прокладке при работе фланцевого соединения:

$$R_{\Pi} = 1,210 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

В соответствии с НТД [10] принимается  $S$  поперечного сечения болтов:

$$f_{\text{б}} = 225 \text{ кв. мм}$$

Таким образом, получим общую  $S$  поперечного сечения болтов по  $D$  внутр резьбы или нагруженному сечению  $D_{\text{меньшего}}$ :

$$A_{\text{б}} = n \cdot f_{\text{б}} \quad A_{\text{б}} = 3.6 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$$

Нагрузка, которая действует равномерно при применении давления:

$$Q_{\text{д}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P \quad Q_{\text{д}} = 5.536 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Примененная при работе нагрузка, которая под воздействием  $F_{\text{внеш.}}$  и  $M$ :

$$Q_{FM} = \max \left( \left| F + \frac{4|M|}{D_{\text{сп}}} \right| \cdot \left| F - \frac{4|M|}{D_{\text{сп}}} \right| \right) \quad Q_{FM} = 0 \text{ Н}$$

Пластичность прокладки:

$$y_{\Pi} = \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}} \quad y_{\Pi} = 4.332 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$L$ , которое необходимо между гайкой и болтом равно:  $L_{\text{б0}} = 62 \text{ мм}$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_{\text{б}} = L_{\text{б0}} + 0.28 \cdot d \quad L_{\text{б}} = 67.6 \text{ мм}$$

Пластичность болтового соединения:

$$y_{\text{б}} = \frac{L_{\text{б}}}{E_{206} \cdot A_{\text{б}}} \quad y_{\text{б}} = 8,614 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Задаваемые значения фланцевого соединения:

а) значение  $l$  обечайки:

$$l_1 = \sqrt{D \cdot S_{10}} \quad l_1 = 71.512 \text{ мм}$$

б) соотношение  $D_{\text{наруж}}$  тарелки фланца к  $D_{\text{внутр}}$ :

$$K = \frac{D_i}{D} \quad K = 1.6$$

в) заданные значения коэффициентов, которые зависят от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.66 \cdot \log K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.666$$

$$\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 4.735$$

$$\beta_Z = \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log K}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Z = 2.282$$

г) значения коэффициентов для соединений фланцев, для фланцев, которые привариваются встык, плоскими фланцам, свободными фланцами соответственно:

$$\beta_f = 0.93 \quad \beta_V = 0.57 \quad f = 1,000$$

е) безразмерный применяемый коэффициент  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{\beta_\Phi \cdot h + l_1}{\beta_t \cdot l_1} + \frac{\beta_w \cdot h^3}{\beta_V \cdot l_1 \cdot (S_1)^2} \quad \lambda = 9.532$$

Пластичность фланцевого соединения с углом .

Пластичность фланцевого соединения с углом при воздействии на него силы:

$$y_\Phi = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_\Phi = 3.348 \cdot 10^{-11}$$

Угловая податливость фланца, который нагружен  $M_{\text{внешним}}$ :

$$y_{\Phi H} = \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_6}{y_6 \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\Phi H} = 3.798 \cdot 10^{-12}$$

Значение коэффициента, который учитывает изгиб тарелки фланца между болтами:

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

$D_{\text{пр}} = D$

Плечо действий усилий в болтах для приварных встык и плоских фланцев:

$$b = 0.55 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) \quad b = 75$$

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

$$e=0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0)$$

$$e = 20$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$S_э = S_0$$

Значение коэффициента жесткости фланца для приварных встык и плоских фланцев:

$$\gamma = \frac{1}{y_{пл} + y_б \cdot \frac{E_{20б}}{E_б} + 2 \cdot b^2 \cdot y_ф \cdot \frac{E_{20ф}}{E}} \quad \gamma = 1.06 \cdot 10^6$$

Значение коэффициента жесткости фланца, нагруженного  $P_{внутр}$  или внешней осевой силой для приварных встык и плоских фланцев с плоскими прокладками:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{пл} - 2e \cdot y_{фл} \cdot b}{y_{пл} + y_б + 2 \cdot b^2 \cdot y_{фл}} \quad \alpha = 0.63$$

Значение коэффициента жесткости фланца, нагруженного  $M_{внеш}$ :

$$\alpha_M = \frac{y_б + 2 \cdot y_{фл} \cdot b \cdot \left( b + e - \frac{e^2}{D_{сп}} \right)}{y_б + y_{пл} \cdot \left( \frac{D_б}{D_{сп}} \right)^2 + 2 \cdot y_{фл} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.168$$

Нагрузка, которая вызвана изменением деформаций по температуре, в сварных соединениях, а также с плоскими фланцевыми соединениями:

$$Q_t = \gamma \cdot \left[ 2\alpha_f \cdot h \cdot (t_ф - 20) - 2\alpha_b \cdot h \cdot (t_б - 20) \right] \quad Q_t = 4.599 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Вычисленное приложенное усилие на болты при определенных условиях, которое нужно применить для обеспечения герметичности фланцевого соединения:

$$P_{б2} = \max \left[ \begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_D + F) + R_{пл} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{сп}} \\ \alpha \cdot (Q_D + F) + R_{пл} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{сп}} - Q_t \end{array} \right] \quad P_{б2} = 4.478 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Вычисленное приложенное усилие на болты при затяжке, которое необходимо для обеспечения обжатия прокладки и min начального натяжения болтов:

$$\max( R_{обж} \cdot 0,4 \cdot A_б \cdot \sigma_{20б} )$$

$$R_{обж} = 6.039 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$P_{б2} = 3,215 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Вычисленное приложенное усилие на болты фланцевых соединений при эксплуатации:

$$P_{бр} = P_{бм} + (1 - \alpha) \cdot (Q_D + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{сп}}$$

$$P_{6p} = 3.977 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Контроль работоспособности соединительных элементов :

$$\text{а) при усилиях: } \sigma_{61} = \frac{R_{6M}}{A_6} \quad \sigma_{61} = 92 \text{ МПа}$$

$$\text{б) при эксплуатации: } \sigma_{62} = \frac{R_{6P}}{A_6} \quad \sigma_{62} = 110.466 \text{ МПа}$$

Контроль работоспособности соединительных элементов при эксплуатации:

$$Usl\_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

$$\sigma_{61} = 92 \text{ мПа} \quad \sigma_{20} = 225 \text{ мПа} \quad \sigma_{62} = 109.462 \text{ мПа} \quad \sigma_{д.6} = 231.5 \text{ мПа}$$

Приложенное воздействие на соединительный элемент:

$$q = \frac{\max(R_{6M} \cdot P_{6p})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} \quad q = 19.179$$

Приложенное воздействие на соединительный элемент (для меж фланцевого соединения)

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

$$Usl\_2 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$$

$$q = 18.971 \text{ МПа} \quad q_d = 130 \text{ мПа}$$

*Вычисление фланцевых соединений на статическую прочность*

Вычисленный М, который действует сварное соединение или плоский фланец при приложенном усилии:

$$M_M = C_F \cdot R_{6M} \cdot b \quad M_M = 2.587 \cdot 10^6 \text{ Н * мм}$$

Вычисленный М, который действует на фланец при эксплуатации:

$$M_P = C_F \cdot \max[P_{6p} \cdot b + (Q_D + Q_{FM}) \cdot e \cdot |Q_D + Q_{FM}| \cdot e]$$

$$M_P = 3.093 \cdot 10^7 \text{ Н * мм}$$

Вычисленные напряжения во фланцевом соединении при приложенном усилии:

а) поперечное усилие в элементе сварного стыка с фланцевым соединением:

$$\sigma_{0M} = \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0M} = 63.702 \text{ МПа}$$

б) напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки:

– радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 1.91 \text{ МПа}$$

– окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} = \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 29.356 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце при рабочих условиях:

а) меридиональные изгибальные напряжения для приварных встык фланцев с прямой втулкой и плоских фланцев:

$$\sigma_{0MP} = \max \left[ \frac{Q_{D+F} + \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D - S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \cdot \frac{Q_{D+F} - \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right]$$

$$\sigma_{0MP} = 3.953 \text{ МПа}$$

Усилие на элемент сварного стыка фланцевого соединения в эксплуатационных условиях:

а) продольное усилие:

$$\sigma_{RP} = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot D} \cdot M_P \quad \sigma_{RP} = 2.379 \text{ МПа}$$

б) усилие по окружности:

$$\sigma_{TP} = \frac{\beta_Y \cdot M_P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RP} \quad \sigma_{TP} = 36,557 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев:

$$\sigma_{Pmax} = \max \left\{ \left( \begin{array}{l} |\sigma_{OP} - \sigma_{OMP} + \sigma_{TP}| \\ |\sigma_{OP} - \sigma_{OMP} + \sigma_{RP}| \\ |\sigma_{OP} + \sigma_{OMP}| \end{array} \right) \right\}$$

$$\sigma_{Pmax} = \max(|\sigma_{OM} + \sigma_{RM}| \cdot |\sigma_{OM} + \sigma_{TM}|) \quad ($$

**R\_1 := "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"**

$K_T = 1,6$  в вычислении при изменении температур. В вычислении без изменения  $t_0$   $K_T = 1,0$ .

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \sigma_{3max} < K_T \cdot \sigma_{20} \wedge \sigma_{Pmax} < K_T \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_3 = \text{"Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"}$

$$\sigma_{3max} = 93.058 \text{ МПа} \quad K_{T\sigma_{20}} = 234 \text{ МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\theta = M_P \cdot Y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \theta = 1.16 \cdot 10^{-3}$$

Угол поворота, который может быть допустим при плоском фланце:  $\theta_d = 0.013$

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

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

### 2.3.5 Расчет тарелок на прогиб

Расчет выполняется по ГОСТ Р 52857.7-2007 [11].

Конструктивное вычисление тарелок зависит от определенных особенностей или условий:

- вычисление элементов на усилие и твердость;
- испытание работающих элементов на твердость;
- вычисление на усилие элементов для тарелок под определенный элемент.

Элемент тарелки бес корпусного типа рассматриваем, например, специальной округлой формы элемент, который эксплуатируется при

определенных условиях при производстве. При этом размер диска необходимо вычислить:

$\sigma_{\text{тар}} = 157 \text{ МПа}$  – тарелки произведены из стали марки 08Х;

$D_{\text{вн}} = 1.72 \text{ м} - d_{\text{тарелки}}$ ;

$c = 1 \text{ мм}$  – увеличение на коррозию полученных данных;

$E = 1.98 \cdot 10^4 \text{ МПа}$  – значение модуля упругости для марки стали 08Х;

$\mu = 0.5$  - значение коэффициента Пуассона;

$$f = \pi \frac{0.006^2}{4} = 1.258 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 - S_{\text{отвер}};$$

$d = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  – диаметр отверстия.

Найдем массу элемента тарелки.

$$\text{Суммарный размер тарелки: } F = \frac{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2}{4} = 2.324 \text{ м}^2.$$

Суммарная  $S_{\text{отвер}}$  составляют приблизительно равна 8-10%  $S_{\text{диска}}$  элемента. Возьмем общую  $S_{\text{отвер}}$ , используемых в производстве:

$$F_2 = 0.09 \cdot F = 0.188 \text{ м}^2.$$

Масса диска производственного элемента:

$S_{\text{дис}} = 0.003 \text{ м}$  – толщина диска производственного элемента;

$\gamma = 0.0076 \frac{\text{МН}}{\text{м}^3}$  – удельная масса используемого металла;

$$G_{\text{д}} = (F - F_1) \cdot S_{\text{дис}} \cdot \gamma = 5.066 \cdot 10^{-5} \text{ МН}.$$

Вес тарелки:

$$G_{\text{т}} = G_{\text{д}} = 5.066 \cdot 10^{-5} \text{ МН}.$$

Количество отверстий:

$$n = \text{ceil}\left(\frac{F_1}{f}\right) = 1.479 \cdot 10^4.$$

Примем, что воды или другой исходной смеси на элементе колонны равна 39 мм, при этом масса составит:

$$G_{\text{в}} = 8.38 \cdot 10^{-4} \text{ МН}.$$

Общая нагрузка на тарелку:

$$G = G_{\text{т}} + G_{\text{в}} = 8.886 \cdot 10^{-4} \text{ МН};$$

$$p_{распр} = \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D_{вн}^2} = 6.578 \cdot 10^{-4} \text{ МПа.}$$

Толщину диска тарелки определяем по формуле:

$$S_{диска} = 0.56 \cdot D_{вн} \cdot \sqrt{\frac{p_{распр}}{\sigma_{тар}}} + \frac{c}{1000} = 2.978 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$Us17 := \begin{cases} \text{"Расчет верный"} & \text{if } S_{диска} < S_{дис} \\ \text{"Необходимо повторить расчет"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us17 = \text{"Расчет верный"}$$

При оптимальных условиях эксплуатации тарелки нужно, прогиб диска не был больше, чем  $1/2000 D$  тарелки. Мах прогиб в середине ситчатой тарелки вычисляют:

$$N = \frac{E \cdot (S_{дис})^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = 4.846 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{цилиндрическая жесткость};$$

$$\omega = 4.08 \frac{p_{распр} \cdot \left(\frac{D_{вн}}{2}\right)^4}{64 \cdot N} = 4.733 \cdot 10^{-11} \text{ м} - \text{прогиб в центре пластины.}$$

$$Us18 := \begin{cases} \text{"Каркас не нужен"} & \text{if } \omega < \frac{1}{2000} \cdot D_{вн} \\ \text{"Каркас необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us18 = \text{"Каркас не нужен"}$$

### 2.3.6 Расчет колонны на ветровую нагрузку

Исходные данные:

Высота колонны:  $H_k = 14.08 \text{ м};$

Район установки – III:  $q_0 = 450 \text{ Н/м}^2;$

Высота установки площадки обслуживания –  $12 \text{ м};$

Диаметр укрепляющей части аппарата:  $D_1 = 1800 \text{ мм};$

Диаметр истощающей части аппарата:  $D_2 = 1800 \text{ мм};$

D опоры:  $D_3 = 1820 \text{ мм};$

Материал изоляции- совелит.

Высота:  $H_n = 12.2 \text{ м};$



Удельный вес:  $\gamma_{и} = 4500 \text{ Н/м}^3$ ;

Т в исчерпывающей части аппарата:  $T_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Т в укрепляющей части аппарата:  $T_1 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Число тарелок  $n_T = 30$ .

Аппарат изготовлен – сталь 08Х.

Конструкционный элемент опоры принимаем сталь Ст3.

Размер: стенки в укрепляющей части аппарата:  $S_1 = 0.01 \text{ м}$ ; стенки в исчерпывающей части аппарата:  $S_1 = 0.01 \text{ м}$ ; размер конструкционного элемента:

$S_0 = 0.01 \text{ м}$ ;  $S_{и} = 0.032 \text{ м}$ ;

Значение модуля упругости стали аппарата:  $E = 1.94 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ ;

$S_{внутр}$  поверхности эллиптического днища:  $F_d = 3.74 \text{ м}^2$ ;

Объем эллиптического днища:  $V_d = 0.865 \text{ м}^3$ ;

Вес люка:  $G_{л} = 240 \text{ кг}$

$D_y = 0.5 \text{ м}$ ;

Ускорение свободного падения:  $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ ;

Коэффициент неравномерности сжатия грунта:  $C_f = 6 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$ .

Разбиваем аппарат на 5 участков:

Н первого участка:  $H_1 = 2200 \text{ мм}$ ;

Н второго участка:  $H_2 = 3350 \text{ мм}$ ;

Н третьего участка:  $H_3 = 3450 \text{ мм}$ ;

Н четвертого участка:  $H_4 = 3360 \text{ мм}$ ;

Н пятого участка:  $H_5 = 1800 \text{ мм}$ .

Н опоры выбираем – 1800 мм.

От основания фундамента учитываем приложенное усилие до центра выбранного отрезка:

Первый отрезок:  $x_1 = 1400 \text{ мм}$ ;

Второй отрезок:  $x_2 = 10000 \text{ мм}$ ;

Третий отрезок:  $x_3 = 7000 \text{ мм}$ ;

Четвертый отрезок:  $x_4 = 5000$  мм;

Пятый отрезок:  $x_5 = 3000$  мм.

Число тарелок на каждом отрезке:

Первый отрезок:  $N_1 = 0$ ;

Второй отрезок:  $N_2 = 4$ ;

Третий отрезок:  $N_3 = 7$ ;

Четвертый отрезок:  $N_4 = 19$ ;

Пятый отрезок:  $N_5 = 0$ .

Размер  $b = 1000$  мм.

$h_{пл} = 1000$  мм

$D_{н.пл} = 3400$  мм.

Осуществляем расчет в трех состояний аппарата, кроме того, для дальнейших расчетов требуется знание веса каждого участка. Чаще всего происходит равномерное распределение веса по колонне, и для достаточной точности расчета веса каждого участка могут быть использованы такие практические рекомендации:

1) масса:

1 м<sup>3</sup> стальных площадок весит 100 кг;

1 м участка лестницы весит 15000 г;

1 м элемент лестницы весит 37000 г;

1 м<sup>2</sup> элементов колонны, включая, жидкость на ней,

$G_{т.1 кв.м} = 115000$  г изоляции, дно, лазов, патрубков – 18...20% от массы применяемого материала корпуса.

2) удельная плотность:

Стали:  $\gamma_{ст} = 7850$  кг/м<sup>3</sup>;

Воды:  $\gamma_{в} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

*Вычисление для соблюдения проведения гидравлического испытания.*

Вычисление для соблюдения проведения гидравлического испытания аппарата учитывает максимальный вес колонны, который состоит из веса

всего аппарата и веса воды во время гидроиспытания. Общий вес колонны будет представлен суммой весов каждого участка.

*Определение веса каждого участка.*

Первый участок представлен обечайкой, крышей, площадкой обслуживания и водой во время гидроиспытания.

Вес обечайки, Н:

$$G_{O1} = 10 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot S_1 \cdot H_1 \cdot \gamma_{ст} \quad G_{O1} = 9854.7363$$

Вес крышки, Н:

$$G_{K1} = 10 \cdot F_d \cdot S_1 \cdot \gamma_{ст} \quad G_{K1} = 2935.9$$

Вес тарелок, Н:

$$G_{T1} = 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot G_{T.1 \text{ кв.м}} \cdot n_1 \quad G_{T1} = 0$$

Вес площадки, Н:

$$G_{ПЛ1} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{н.пл}^2 - D_1^2) \cdot h_{пл} \cdot 1000 \quad G_{ПЛ1} = 6534.5127$$

Вес воды, Н:

$$G_{B1} = 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot H_1 \cdot \gamma_B \quad G_{B1} = 56492.1191$$

Тогда вес первого участка, Н:

$$G_{Г1} = G_{O1} + G_{K1} + G_{T1} + G_{ПЛ1} + G_{B1} \quad G_{Г1} = 75817.2681$$

*Второй участок представлен обечайкой, четырьмя тарелками и водой во время гидроиспытания.*

Вес обечайки, Н:

$$G_{O2} = 10 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot S_1 \cdot H_2 \cdot \gamma_{ст} \quad G_{O2} = 14959.6673$$

Вес тарелок, Н:

$$G_{T2} = 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot G_{T.1 \text{ кв.м}} \cdot n_2 \quad G_{T2} = 12214.5122$$

Вес воды, Н:

$$G_{B2} = 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot H_2 \cdot \gamma_B \quad G_{B2} = 85756.0547$$

Тогда вес второго участка, Н:

$$G_{Г2} = G_{O2} + G_{T2} + G_{B2} + G_{ПЛ1} \quad G_{Г2} = 119464.7469$$

*Третий участок представлен обечайкой, крышкой, семью тарелками и водой во время гидроиспытания.*

Вес обечайки, Н:

$$G_{03} = 10 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot S_2 \cdot H_3 \cdot \gamma_{ст} \quad G_{03} = 14870.8859$$

Вес тарелок, Н:

$$G_{Т3} = 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot G_{Т.1 \text{ кв.м}} \cdot n_3 \quad G_{Т3} = 21375.3964$$

Вес воды, Н:

$$G_{В3} = 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot H_3 \cdot \gamma_В \quad G_{В3} = 85247.1167$$

В таком случае вес третьего участка, Н:

$$G_{Г3} = G_{03} + G_{Т3} + G_{В3} + G_{пл1} \quad G_{Г3} = 128027.9117$$

*Четвертый участок представлен обечайкой, крышкой, 19-ю тарелками, изоляцией и водой во время гидроиспытания.*

Вес обечайки, Н:

$$G_{04} = 10 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot S_2 \cdot H_4 \cdot \gamma_{ст} \quad G_{04} = 14560.151$$

Вес тарелок, Н:

$$G_{Т4} = 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot G_{Т.1 \text{ кв.м}} \cdot n_4 \quad G_{Т4} = 58018.9331$$

Вес изоляции, Н:

$$G_{И4} = \pi \cdot D_2 \cdot S_{и} \cdot H_4 \cdot \gamma_{и} \quad G_{И4} = 2670.9067$$

Вес воды, Н:

$$G_{В4} = 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot H_4 \cdot \gamma_В \quad G_{В4} = 83465.8336$$

Тогда вес четвертого участка, Н:

$$G_{Г4} = G_{04} + G_{Т4} + G_{И4} + G_{В4} + G_{пл1} \quad G_{Г4} = 165250.3371$$

*Пятый участок представлен только опорной обечайкой.*

Вес опорной обечайки, Н:

$$G_{06} = 10 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot S_0 \cdot H_5 \cdot \gamma_{ст} \quad G_{06} = 7990.3268$$

Следовательно, масса шестого отрезка вычислим по формуле, Н:

$$G_{Г5} = G_{06}$$

Общая масса всех участков аппарата при проведении гидротиспытания составит, Н:

$$G_{r.max} = G_{r1} + G_{r2} + G_{r3} + G_{r4} + G_{r5} \quad G_{r.max} = 496550.5907 \text{ Н}$$

Прибавка к толщине, м:

$$c = 0.001.$$

Вычислим значение инерции укрепляющей части аппарата, м<sup>3</sup>:

$$I_1 = \pi \cdot \frac{(D_1+S_1-c)^3 \cdot (S_1-c)}{8} \quad I_1 = 0.0209 \text{ м}^4$$

Вычислим значение инерции исчерпывающей части аппарата, м<sup>4</sup>:

$$I_2 = \pi \cdot \frac{(D_2+S_1-c)^3 \cdot (S_2-c)}{8} \quad I_2 = 0.0209$$

Вычислим значение инерции опорной обечайки аппарата, м<sup>4</sup>:

$$I_4 = \pi \cdot \frac{(D_3+S_1-c)^3 \cdot (S_1-c)}{6} \quad I_3 = 0.0211$$

Вычисление статистической составляющей:

Вычислим коэффициент используя модуль расчета. Здесь:

$$x = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{Bmatrix} \quad H = \begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \end{Bmatrix} \quad G_r = \begin{Bmatrix} G_{r1} \\ G_{r2} \\ G_{r3} \\ G_{r4} \\ G_{r5} \end{Bmatrix} \quad i=0.. \text{last}(x)$$

Н вычисленного сечения аппарата до начала фундамента

$$x_0 = \begin{Bmatrix} 13 \\ 9 \\ 4 \\ 2 \\ 0.55 \end{Bmatrix}$$

Размер используемых при работе производственных на отрезков – n, м<sup>2</sup> j=0...5

$$A = \begin{Bmatrix} 7.5400 \\ 7.5400 \\ 7.5400 \\ 7.5400 \\ 7.5400 \end{Bmatrix} \quad A_{j,j,0} = A_j \quad A_j = \begin{Bmatrix} 7.5400 \\ 7.5400 \\ 7.5400 \\ 7.5400 \\ 7.5400 \end{Bmatrix}$$

Н от фундамента до производственных отрезков, м:

$$x_j = \begin{Bmatrix} 14 \\ 10 \\ 5 \\ 3 \\ 0.75 \end{Bmatrix} \quad x_{j_{j,0}} = x_j \quad x_j = \begin{Bmatrix} 14 \\ 10 \\ 5 \\ 3 \\ 0.75 \end{Bmatrix} \quad i=0 \dots \text{last}(x)$$

Тогда:

$$\Theta_{j_{j,0}} = \Theta_j \quad \Theta_j = \begin{Bmatrix} 1.1137 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

Для круглых аппаратов:  $K=0.7$

На статическую составляющую не влияет вес аппарата, а влияет высота над поверхностью земли.

Нормативное значение статической составляющей,  $H/m^2$ :

$$q_i = q_0 \cdot \Theta_i K$$

$$q_1 =$$

350.8096
315
315
315
315

Наружный диаметр по участкам составит, м:

$$D_{H1} = D_1 \cdot 2 \cdot S_1 + 2 \cdot S_{и}$$

$$D_{H1} = 1.884$$

$$D_{H2} = D_1 \cdot 2 \cdot S_1 + 2 \cdot S_{и}$$

$$D_{H2} = 1.884$$

$$D_{H3} = D_2 \cdot 2 \cdot S_2 + 2 \cdot S_{и}$$

$$D_{H3} = 1.884$$

$$D_{H4} = D_2 \cdot 2 \cdot S_2 + 2 \cdot S_{и}$$

$$D_{H4} = 1.884$$

$$D_{H5} = D_2 \cdot 2 \cdot S_2 + 2 \cdot S_{и}$$

$$D_{H5} = 1.884$$

Представим:

$$D_H = \begin{Bmatrix} D_{H1} \\ D_{H2} \\ D_{H3} \\ D_{H4} \\ D_{H5} \end{Bmatrix}$$

Тогда статистическая составляющая ветровой нагрузки на каждом участке будет равно, H:

$$P_{st_i} = q_i \cdot D_{H_i} \cdot H_i \quad P_{st_i} =$$

1467.2543
1999.9602
1988.091
1946.5488
1068.228

*Нахождение динамической составляющей усилия от ветра.*

Найдем параметры.

h изменяемых параметров, мм:

$$h_1 = 0,0000001;$$

$$h_2 = 0,0000001;$$

$$h_3 = 0,0000001.$$

1) Параметр  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{1}{4} + \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{h_1}{h_2} \cdot \left[ \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{h_1}{2} \right)^2 + \frac{h_1}{h_2} + 1 \right] \quad \Delta = 0.3334$$

2) Параметр  $\mu$ :

$$\mu = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h_2}{h_1} \cdot \left( \frac{h_2}{h_1} + 1 \right) \quad \mu = 0$$

3) Параметр  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{h_2}{h_1} \cdot \left[ \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^2 + \frac{h_2}{h_1} + 1 \right]$$

4) Параметр

$$\gamma = 2 \cdot \Delta \cdot \left( \frac{h_2}{H_k} \right)^3 \quad \gamma = 0$$

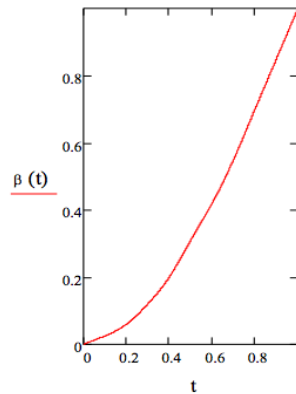
5) С помощью модуля определения коэффициентов b

$$R = \frac{x}{H_k} \quad r = \begin{cases} 0.9943 \\ 0.7102 \\ 0.4972 \\ 0.3551 \\ 0.2131 \end{cases}$$

```

xx := (0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1)ᵀ
y := (0 0.025 0.06 0.12 0.2 0.31 0.42 0.55 0.7 0.85 1)ᵀ
wu := cspline(xx,y)
β(t) := interp(wu,xx,y,t)

```



$$\beta(r) = \begin{Bmatrix} 0.9914 \\ 0.5647 \\ 0.3068 \\ 0.1605 \\ 0.0665 \end{Bmatrix} \quad \beta = \beta(r)$$

$$\beta = \begin{Bmatrix} 0.9914 \\ 0.5647 \\ 0.3068 \\ 0.1605 \\ 0.0665 \end{Bmatrix}$$

$$\alpha = \gamma \cdot \frac{H_k}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \beta$$

$$\alpha = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

В результате того, что преимущественно отсутствуют данные о размере фундамента для аппарата, то подсчет периода собственных колебаний для аппарата переменного сечения может быть рассчитан:

$$T_0 = 1.8 \cdot H_k \cdot \sqrt{\frac{G_{r,max}}{g} \cdot \frac{H_k}{E \cdot I_1}}$$

$$T_0 = T_r = 0.3341$$

Вычисление значений параметров:

$$1) e = \frac{T_r \cdot \sqrt{q_0}}{840} \quad \varepsilon = 0.0084$$

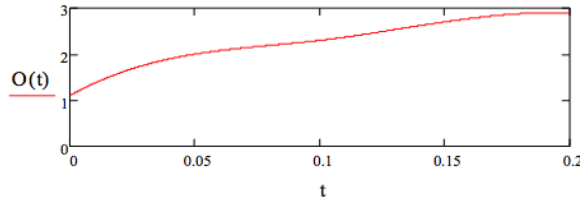
2) Используя модуль вычисления значения коэффициента динамичности усиление от ветра  $x$ :



```

xx := (0 0.05 0.1 0.15 0.2)T
y := (1.1 2 2.3 2.7 2.9)T
ww := cspline(xx,y)
O(t) := interp(ww,xx,y,t)

```



$$O(\varepsilon) = 1.3346$$

$$\xi = O(\varepsilon)$$

$$\xi = 1.3346$$

3) По ГОСТ Р 51273-99 [12]:

$$\nu = 0.6$$

4) Значение пульсации для середины отрезка вычисляем используя модуль вычисления значения пульсации  $m_{k,j}$  для середины  $k$ -того участка на  $H$  для  $x_k$  и  $j$ -той площадки на  $H$   $x_j$ :

$$m_i := \begin{cases} 0.6 \cdot \left(\frac{x_i}{10}\right)^{-0.16} & \text{if } x_i > 10 \\ 0.6 & \text{if } x_i \leq 10 \end{cases}$$

$$m_i =$$

0.5686
0.6
0.6
0.6
0.6

Тогда ускорение центра тяжести  $i$ -го участка:

$$\eta_{\Gamma_i} = \alpha_i \cdot \frac{\sum_{i=0}^{last(x)} (\alpha_i \cdot m_i \cdot P_{st_i})}{\sum_{i=0}^{last(x)} [(\alpha_i)^2 \cdot G_{\Gamma_i}]}$$

$$\eta_{\Gamma_i} =$$

0
---

0
0
0
0

Динамическая составляющая ветровой нагрузки на i-м участке, Н:

$$P_{r.dyn_i} = v \cdot G_{r_i} \cdot \xi \cdot \eta_{r_i} \quad P_{r.dyn_i} =$$

0
0
0
0
0

Усилие от ветра при выполнении работ в гидравлических испытаниях:

Усилие от ветра на и-м отрезке, Н:

$$P_{r_i} = P_{st_i} + P_{r.dyn_i} \quad P_{r_i} =$$

1467.2543
1999.9602
1988.091
1946.5488
1068.228

M в вычисленном параметре на H x<sub>0</sub> под действием силы ветра, Н\*м.

Параметр изменения ускоряющей энергии для центра отрезка находим применяя значение модуля на j-й площадки на высоте x<sub>j</sub>:

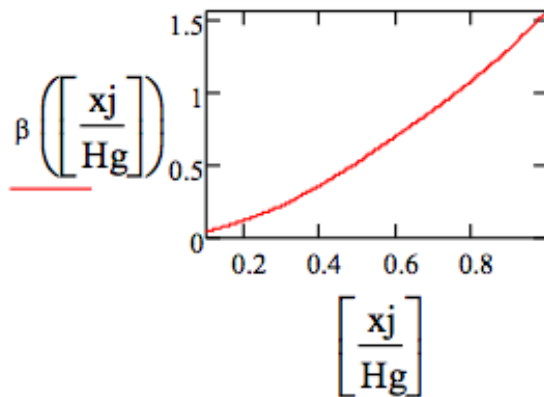
$$m_j := \begin{cases} 0.6 \cdot \left(\frac{x_j}{10}\right)^{-0.16} & \text{if } x_j > 10 \\ 0.6 & \text{if } x_j \leq 10 \end{cases}$$

$$m_{j,0} = m_j \quad m_j = \begin{pmatrix} 0.5686 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 0.6 \end{pmatrix} \quad \left[ \frac{x_j}{H} \right] = \frac{x}{H_k} \quad \left\{ \begin{array}{l} 0.9943 \\ 0.7102 \\ \left[ \frac{x_j}{H} \right] = 0.4972 \\ 0.3551 \\ 0.2131 \end{array} \right.$$

Параметр  $x_j$  в заимосвязи от  $\left[ \frac{x_j}{H} \right]$  вычисляют по исходному модулю:

$$\begin{aligned} xx &:= (0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.7 \ 0.8 \ 0.9 \ 1)^T \\ xjgr &:= (0.04 \ 0.12 \ 0.22 \ 0.36 \ 0.52 \ 0.7 \ 0.88 \ 1.08 \ 1.3 \ 1.56)^T \\ \underline{ww} &:= \text{cspline}(xx, xjgr) \end{aligned}$$

$$\beta \left( \left[ \frac{x_j}{H_g} \right] \right) = \text{linterp} \left( xx, xjgr, \left[ \frac{x_j}{H_g} \right] \right)$$



$$\beta \left( \left[ \frac{x_j}{H_g} \right] \right) = \begin{pmatrix} 1.5452 \\ 0.9005 \\ 0.5155 \\ 0.2972 \\ 0.1331 \end{pmatrix} \quad \chi_j = \beta \left( \left[ \frac{x_j}{H_g} \right] \right) \quad \chi_j = \begin{pmatrix} 1.5452 \\ 0.9005 \\ 0.5155 \\ 0.2972 \\ 0.1331 \end{pmatrix}$$

$M$  в вычисленном сечении на  $H$   $x_0$  от воздействия усилия ветра на производственный отрезок  $i$ ,  $H^*m$ :

$$ss = 0.85 \cdot q_0 \cdot \Theta_j = \begin{pmatrix} 425.9831 \\ 382.5 \\ 382.5 \\ 382.5 \\ 382.5 \end{pmatrix} \quad gg = (x_{j_i} - x_0) \cdot (1 + \xi \cdot \chi_j \cdot m_j) A_j = 0$$

$$M_{vj} = ss \cdot gg = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте  $x_0$ , Н\*м:

$$n=0...4$$

$$M_{v1n} = \sum_{i=0}^n [P_{r_i} \cdot (x_i - x_{0j})] + \sum_{j=0}^4 M_{vj}$$

$$M_{vj_i} =$$

0
0
3976.182
7869.2796
10272.7926

*Вычисление параметров производственного цикла.*

Вычисление массы отрезков:

*Начальный отрезок состоит из обечайки, крышки, число тарелок равно 0, место для рабочего персонала.*

$$G_{p1} = G_{o1} + G_{k1} + G_{r1} + G_{пл1} \quad G_{p1} = 19325.1491$$

*Второй отрезок состоит из обечайки, крышки, число тарелок равно 4.*

$$G_{p2} = G_{o2} + G_{r2} \quad G_{p2} = 27174.1796$$

*Третий отрезок включает в себя обечайку, крышку,  $n_3=7$  тарелок.*

$$G_{p3} = G_{o3} + G_{r3} \quad G_{p3} = 36246.2823$$

*Четвёртый отрезок состоит из обечайки, крышки, число тарелок равно 19, изоляции.*

$$G_{p4} = G_{o4} + G_{r4} + G_{и4} \quad G_{p4} = 75249.9908$$

*Пятый участок включает в себя только опорную обечайку.*

$$G_{p5} = G_{o6} \quad G_{p5} = 7990.3268$$

Таким образом, вес аппарата для рабочих условий, Н:

$$G_{p.max} = G_{p1} + G_{p2} + G_{p3} + G_{p4} + G_{p5} \quad G_{p.max} = 165985.9285$$

Определение статистической составляющей.

Здесь:

$$G_p = \begin{cases} G_{p1} \\ G_{p2} \\ G_{p3} \\ G_{p4} \\ G_{p5} \end{cases} \quad G_{p_{i,0}} = G_p$$

$$P_{st_i} =$$

1467.2543
1999.9602
1988.091
1946.5488
1068.228

*Определение динамической составляющей ветровой нагрузки.*

Чтобы определить коэффициенты, требуется вычисление периода собственных колебаний аппарата. Чаще всего отсутствуют данные о размерах фундамента для переменного сечения, то можно подсчитать:

$$T_0 = 1.8 \cdot H_k \cdot \sqrt{\frac{G_{r,max}}{g} \cdot \frac{H_k}{E \cdot I_1}}$$

$$T_0 = T_p = 0.3341$$

Вычисление параметров для вычисления динамической составляющей:

$$\varepsilon = \frac{T_p \cdot \sqrt{q_0}}{840} \quad \varepsilon = 0.0084$$

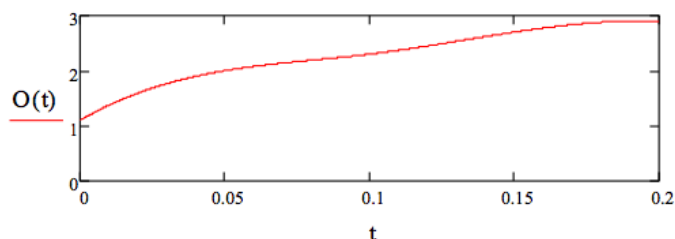
Для определения значения динамичности  $x$  при усилении ветра применим вычисление:

$$xx := (0 \ 0.05 \ 0.1 \ 0.15 \ 0.2)^T$$

$$y := (1.1 \ 2 \ 2.3 \ 2.7 \ 2.9)^T$$

$$ww := \text{cspline}(xx, y)$$

$$Q(t) := \text{interp}(ww, xx, y, t)$$



$$O(\varepsilon) = 1.3346$$

$$\xi = O(\varepsilon)$$

$$\xi = 1.3346$$

$$3) \nu = 0.6$$

Ускорение в середине тяжести i-го участка:

$$\eta_{pi} = \alpha_i \cdot \frac{\sum_{i=0}^{last(x)} (\alpha_i \cdot m_i \cdot P_{st_i})}{\sum_{i=0}^{last(x)} [(\alpha_i)^2 \cdot G_{p_i}]}$$

$$\eta_{pi} =$$

Динамическая составляющая ветровой нагрузки на i-м участке, Н:

$$P_{p.dyn_i} = \nu \cdot G_{p_i} \cdot \xi \cdot \eta_{pi}$$

0,000001
0,000001
0,000001
0,000001
0,000001
0
0
0
0
0

нагрузки на i-м

$$P_{p.dyn_i} =$$

Ветровая нагрузка в рабочих условиях.

Ветровая нагрузка на i-м участке, Н:

$$P_{pi} = P_{st_i} + P_{p.dyn_i}$$

$$P_{pi} =$$

1467.2543
1999.9602
1988.091
1946.5488
1068.228

M в вычисленном параметре на H x<sub>0</sub> от воздействия усилия ветра, Н\*м:

$$M_{w2N} = \sum_{i=0}^n [P_{\Gamma_i} \cdot (x_i - x_{0_j})] + \sum_{j=0}^{last(x)} M_{vj}$$

$$M_{w2N} =$$

0.00001
0.00001
$3.871 \cdot 10^3$
$7.861 \cdot 10^3$
$1.029 \cdot 10^4$

Вычисление особенностей монтажных работ.

Вычисление массы отрезков, Н:

Первый отрезок включает в себя обечайку, крышку, площадку обслуживания:

$$G_{M1} = G_{O1} + G_{K1} + G_{T1} + G_{Пл1} \quad G_{M1} = 19325.1491$$

Второй участок состоит из элементов, включающих в себя обечайку, крышку, число тарелок равно 4:

$$G_{M2} = G_{O2} + G_{T2} \quad G_{M2} = 27174.1796$$

Третий отрезок включает в себя обечайку, крышку, число тарелок равно 7.

$$G_{M3} = G_{O3} + G_{T3} \quad G_{M3} = 36246.2823$$

Четвёртый отрезок состоит из элементов, включающих обечайку, крышку, число тарелок равно 19.

$$G_{M4} = G_{O4} + G_{T4} \quad G_{M4} = 72579.0841$$

Пятый участок включает в себя только опорную обечайку:

$$G_{M5} = G_{O6} \quad G_{M5} = 7990.3268$$

Таким образом, вес аппарата для условий монтажа, Н:

$$G_{p.max} = G_{M1} + G_{M2} + G_{M3} + G_{M4} + G_{M5} \quad G_{M.max} = 163315.0218$$

Нахождение статического параметра.

Здесь:

$$G_M = \begin{Bmatrix} G_{M1} \\ G_{M2} \\ G_{M3} \\ G_{M4} \\ G_{M5} \end{Bmatrix}$$

$$P_{st_i} =$$

1467.2543
1999.9602

1988.091
1946.5488
1068.228

Нахождение динамического параметра от усилия ветра.

Чтобы вычислить параметры, нужно найти число изменений колонны. В силу того, что отсутствуют данные о параметрах фундамента (бетонной подушке) для колонны, то необходимо произвести вычисление:

$$T_0 = 1.8 \cdot H_k \cdot \sqrt{\frac{G_{r.max}}{g} \cdot \frac{H_k}{E \cdot I_1}}$$

$$T_0 = T_M = 0.3341$$

Нахождение коэффициентов для определения динамического параметра:

$$\varepsilon = \frac{T_p \cdot \sqrt{q_0}}{840} \quad \varepsilon = 0.0084$$

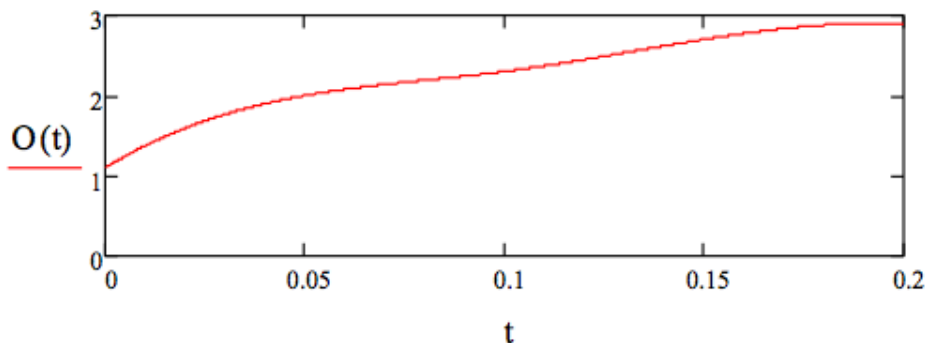
2) Используя модуль параметра динамичности при усилении ветра x:

$$xx := (0 \ 0.05 \ 0.1 \ 0.15 \ 0.2)^T$$

$$y := (1.1 \ 2 \ 2.3 \ 2.7 \ 2.9)^T$$

$$ww := cspline(xx, y)$$

$$O(t) := interp(ww, xx, y, t)$$



$$O(\varepsilon) = 1.3346$$

$$\xi = O(\varepsilon)$$



$$\xi = 1.3346$$

3) По ГОСТ Р 51273-99 [12]:

$$v = 0.6$$

Ускорение середины усилия  $i$ -го участка:

$$\eta_{Ni} = \alpha_i \cdot \frac{\sum_{i=0}^{\text{last}(x)} (\alpha_i \cdot m_i \cdot P_{st_i})}{\sum_{i=0}^{\text{last}(x)} [(\alpha_i)^2 \cdot G_{M_i}]}$$

$$\eta_{Ni} =$$

0.000001
0.000001
0.000001
0.000001
0.000001

Динамическая составляющая ветровой нагрузки на  $i$ -м участке, Н:

$$P_{M.dyn_i} = v \cdot G_{M_i} \cdot \xi \cdot \eta_{M_i}$$

$$P_{M.dyn_i} =$$

0
0
0
0
0

*Ветровая нагрузка в рабочих условиях.*

Ветровая нагрузка на  $i$ -м участке, Н:

$$P_{M_i} = P_{st_i} + P_{M.dyn_i}$$

$$P_{M_i} =$$

1467.2543
1999.9602
1988.091
1946.5488
1068.228

$M$  в вычисленном сечении на  $H$   $x_0$  от воздействия усилие от ветра,  $H^*m$ :

$$M_{v3n} = \sum_{i=0}^n [P_{mi} \cdot (x_i - x_{0j})] + \sum_{j=0}^{last(x)} M_{vj}$$

$$M_{v3i} =$$

0
0
$3.976 \cdot 10^3$
$7.869 \cdot 10^3$
$1.027 \cdot 10^4$

Модуль связи:

$$MFS_{i,0} = x_{0i} \quad MFS_{i,1} = M_{v1i} \quad MFS_{i,2} = M_{v2i} \quad MFS_{i,3} = M_{v3i}$$

$$MFS_{1,4} = G_{r.max} \quad MFS_{2,4} = G_{p.max} \quad MFS_{3,4} = G_{m.max}$$

$$MFS = \begin{pmatrix} 14 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 49655.5907 \\ 5 & 3976.182 & 3976.182 & 3976.182 & 165985.9218 \\ 3 & 7869.2796 & 7869.2796 & 7869.2796 & 163315.0218 \\ 0.75 & 10272.7926 & 10272.7926 & 10272.7926 & 0 \end{pmatrix}$$

### 2.3.7 Расчет опорной обечайки колонны

При монтаже химических аппаратов составляется проектная документация, в которой заложены требования к фундаменту или устанавливаются специальные конструкции опоры, которые должны обеспечивать устойчивость аппаратов (колонны, теплообменники и т.д.).

При монтаже ректификационной колонны применяют специализированную цилиндрическую опору ГОСТ Р 52857.5-2007 [13].

Находим массу всей колонны во время эксплуатации:

1. Масса обечайки:

$$M_k = h * \pi * d * s * \rho_{ст} = 12,2 * 3,14 * 1,8 * 0,012 * 7900 = 6537 \text{ кг},$$

где  $\rho_{ст} = 7900 \text{ кг/м}^3$ .

2. Масса крышки и днища:

$$M_{кр\text{идн}} = 2 * D * s * \rho_{ст} = 2 * 1,8 * 0,012 * 7900 = 341 \text{ кг};$$

3. Масса тридцати ситчатых тарелок:  $M_T = N * m_T = 30 * 90 = 2670 \text{ кг}$ ,

где  $m_T = 909$  – масса одного конструктивного элемента.

4. Масса воды при гидравлическом испытании:

$$M_B = \pi * \frac{d^2}{4} * H * \rho_B = 3,14 * \frac{1,8^2}{4} * 12,2 * 1000 = 34477 \text{ кг},$$

где  $\rho_B = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

5. Масса патрубков:

$$M_{65} = 3,37; M_{80} = 4,17; M_{300} = 15,4; M_{100} = 0,48 \text{ кг}$$

6. Общая масса колонны:

Учитывая, что вес используемых дополнительных устройств колонны составляет 10% от общего веса колонны:

$$M_{\text{массаапарата}} = 1,1 * (M_{\text{корпуса}} + M_{\text{тарелки}} + M_{\text{крышки и д днища}} + M_{\text{воды}} + M_{65} + M_{300} + M_{80} + M_{10})$$

$$M_{\text{массаапарата}} = 1,1 * (6537 + 341 + 2670 + 34477 + 2,47 + 14,9 + 3,18 + 0,32) = 48453 \text{ кг}$$

Находим полный вес колонны:

$$G = m * g = 48453 * 10 * 10^{-6} = 0,37 \text{ МН}$$

Берем цилиндрическую опору тип 1 с  $G * 10^2 = 10 \text{ МН}$ .

Исходные данные:

$$D_H = 18200 \text{ мм}$$

$$s = 0.001 \text{ м};$$

$$Q_{\text{max}} = 0.37 \text{ МН} - \text{max вес колонны};$$

$$Q_{\text{min}} = 0,16 \text{ МН} - \text{min вес колонны};$$

$$M = 0,0105 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$\varphi = 1;$$

$$\sigma = 140 \text{ МПа}$$

$$n = 20;$$

$$b = 0.04 \text{ м};$$

$$D_1 = D_H - 0,06 = 1760 \text{ мм};$$

$$D_2 = D_H + 2 \cdot s + 0.2 = 2040 \text{ мм};$$

$$W = \left(\frac{\pi}{16}\right) \left[\frac{(D_1^4 - D_2^4)}{D_1}\right] \quad W = 0.384 \text{ м}^2$$

Размер опоры фундаментного кольца

$$F = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4} \quad F = 0.836 \text{ м}^2$$

$$\sigma_{max1} = \left(\frac{Q_{max}}{F}\right) + \frac{M}{W} \quad \sigma_{max1} = 0.589 \text{ МПа}$$

$$\delta_K = \varphi \cdot b \cdot \sqrt{3 \cdot \frac{\sigma_{max1}}{\sigma}} \quad \delta_K = 4,48 \cdot 10^{-3} \text{ — опорная площадь фундаментного кольца, м}^2$$

$$\sigma_{min} = \left(\frac{Q_{min}}{F}\right) - \frac{M}{W} \quad \sigma_{min} = 0.152 \text{ МПа}$$

При расчете получили значение  $\sigma_{min}$  со знаком +, что говорит о правильном вычислении колонны на устойчивость.

Параметр устойчивости:

$$y = Q_{min} \cdot 0.42 \cdot \frac{D_H}{M} \quad y = 11.132$$

Исходя из расчетов, количество болтов равно 20.

Усилие на болт  $P_6$  находим:

$$P_6 = \sigma_{min} \cdot \frac{F}{n} \quad P_6 = 0.016$$

-  $D_{внутр}$  резьбы болта на фундаменте вычисляем учитывая изменение в виде растяжения:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot P_6}{\pi \cdot \sigma}} + 0.003 \quad d_0 = 0.015 \text{ м}$$

Принимаем фундаментные болты М 16.

Площадь опасного сечения сварного шва:

$$f_c = \pi \cdot D_H \cdot 0.7 \cdot s \quad f_c = 0.04 \text{ м}^2$$

Момент сопротивления сварного шва изгибу:

$$W_c = 0.8 \cdot 0.7 \cdot s \cdot D_H^2 \cdot \quad W_c = 0.019 \text{ м}^3$$

Усилие в сварном соединении, с помощью которого соединяется корпус колонны к опоре:

$$\sigma_c = \left( \frac{Q_{max}}{f_c} \right) + \frac{M}{W_c} \quad \sigma_c = 12.292 \text{ МПа}$$

Напряжение в сварном шве должно удовлетворять условию:

$$Usl\_P := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_c < 0.8 \cdot \varphi \cdot \sigma \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_P = \text{"Условие выполняется"}$$

## 2.4 Расчет тепловой изоляции

Размер тепловой изоляции вычисляем учитывая поток тепла. В качестве источника изоляции выбираем материал совелит, значение коэффициента теплопроводности составляет  $\lambda=0,098 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$  [4].

Принимаем,  $t_{ст} = 80^\circ\text{C}$ . Температуру изоляционного слоя примем равной  $45^\circ\text{C}$ , температуру окружающей среды примем  $35^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t = t_{из} - t_{окр} = 45 - 35 = 10^\circ\text{C}$ .

$$\alpha_B (t_{ст2} - t_B) = \frac{\lambda_H}{\delta_H} (t_{ст1} - t_{ст2})$$

Коэффициент теплопередачи:

$$\alpha_B = 9,74 + 0,07 \cdot \Delta t = 9,74 + 0,07 \cdot 10 = 10,44 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Согласно источнику [14] для химических аппаратов, которые эксплуатируются в осенне-зимний период и находятся на открытой площадке,  $t_{ст}$  колеблется в пределах от 0 до  $10^\circ\text{C}$ .

Примем  $t_B = 10^\circ\text{C}$ , тогда

$$\delta_H = \frac{0,098(80-45)}{10,44(45+10)} = 0.032 \text{ м} \quad \text{т.к. во время эксплуатации максимальная}$$

температура в колонне находится в кубовой части, то принимаем толщину изоляционного слоя  $0,032 \text{ м}$

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2К31	Семенова Надежда МаксUTOвна

<b>Институт</b>	ИШНПТ	<b>Отделение</b>	НОЦ Н.М. Кижнера
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	«Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования</i>
2. <i>Определение затрат на оборотные средства</i>	<i>Расчет затрат на сырье и материалы</i>
2. <i>Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности</i>
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности получения бензола и хлороформа с использованием ректификационной колонны</i>
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. <i>Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.</i>	
2. <i>Расчет технико-экономических показателей</i>	

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2К31	Семенова Надежда МаксUTOвна		

### **3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

#### **Введение**

#### **Потенциальные потребители результатов исследования**

Продукт: проект ректификационной колонны для разделения смеси хлороформ-бензол.

Целевой рынок: предприятия нефтехимической отрасли промышленности.

Главными задачами развития экономики на современном этапе является повышение эффективности производства, а также занятие устойчивых позиций организаций на внутреннем и международном рынках. Чем выше первый показатель и ниже второй, тем лучше и выгоднее для покупателя и производителя. Резервы улучшения этих показателей как раз и заключены в себестоимости продукции.

Себестоимость продукции организаций складывается из затрат связанных с использованием в процессе производства природных, материальных, трудовых ресурсов, основных фондов, а также затрат на реализацию продукции.

#### **3.1 Расчёт производственной мощности**

Расчет производственной мощности для непрерывного производства производится по формуле [15]:

$$M = P_{\text{час}} * T_{\text{эф}} \cdot K_{\text{об}}$$

где  $P_{\text{час}}$  – часовая производительность, т/ч;

$T_{\text{эф}}$  – эффективный фонд времени работы оборудования, ч;

$K_{\text{об}}$  – количество однотипного оборудования.

Определим эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{ппр}} ,$$

где  $T_{\text{ном.}}$  – номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ппр}}$  – время простоя в ремонтах за расчетный период,

Производство имеет непрерывный характер, поэтому

$$T_{\text{ном.}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{во}};$$

где  $T_{\text{во}}$  – время внеплановых остановок.

$$T_{\text{ппр}} = 69 \text{ дн.}(1656 \text{ ч.}), \quad T_{\text{во}} = 7,5 \text{ дн.}(180 \text{ ч.}),$$

$$T_{\text{ном.}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{во}} = 357,5 \text{ дн.}(8580 \text{ ч.});$$

$$\text{Таким образом, } T_{\text{эф}} = 8760 - 1656 - 180 = 6924 \text{ ч.}$$

Полученные данные представлены в табл.3.1.

$$P_{\text{час}} = 9166 \text{ кг/ч}; \quad T_{\text{эф}} = 6924 \text{ ч};$$

$$M = 9166 * 6924 = 63465 \text{ т/год.}$$

Таблица 3.1. Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени, $T_{\text{кал}}$	360 (8760)
Режимные потери рабочего времени <ul style="list-style-type: none"> <li>• выходные</li> <li>• праздники</li> <li>• внеплановые остановки производства, <math>T_{\text{во}}</math></li> </ul>	0 (0) 0 (0) 7,5 (180)
Номинальный фонд рабочего времени, $T_{\text{ном.}}$	357,5 (8580)
Простой оборудования в ремонтах, $T_{\text{ппр}}$	69 (1656)
Эффективное время работы оборудования за год, $T_{\text{эф}}$	288,5 (6924)

Коэффициент экстенсивного использования оборудования характеризует эффективность его использования во времени.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}} / T_{\text{ном}}$$

где  $K_{\text{экс}}$  - коэффициент экстенсивности;

$T_{\text{эф}}$  - эффективное время работы оборудования, ч.;

$T_{\text{ном}}$  - календарный фонд времени работы оборудования, ч.

$$K_{\text{экс}} = 6924 / 8580 = 0,806$$

Коэффициент интенсивности характеризует использование оборудование по производительности.

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен



$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{ПП}} / Q_{\text{max}}$$

где  $Q_{\text{ПП}}$  – производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{\text{max}}$  – максимальная производительность в единицу времени.

$$K_{\text{инт}} = 0,17/0,173=0,98$$

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = 0,806 * 0,98=0,79$$

Для определения реального выпуска продукции рассчитывается

производственная программа ( $N_{\text{год}}$ ):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} * M$$

$$N_{\text{год}} = 63465 * 0,79=50137 \text{ (т/год)}$$

### 3.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

НПЗ (Нефтеперерабатывающий завод) работает непрерывно, поэтому бригада формируется по принципу сменности. Согласно заводским данным график сменности является четырехбригадным. График сменности представляет собой изображение очередности выхода работающих на работы, А, Б, В, Г – условное обозначение бригад. Основные рабочие на производстве работают в двухсменном режиме, первая смена работает с 8.00ч. до 20.00 ч., а вторая смена работает с 20.00ч. до 8.00 ч.

Таблица 3.2 Расчет численности персонала основных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания	Число смен в сутки	Число единиц оборудования	Явочная численность	Эффективное время рабочего	Коэффициент перехода	Списочная численность
	$H_{\text{обс}}$	$S$	$n$	$H_{\text{яв}}$	$T_{\text{эфф}}$	$K_{\text{пер}}$	$H_{\text{сп}}$
Основные рабочие	7	2	7	4	1734	4	16
Вспомогательные рабочие	7	2	7	2	1734	4	8

МОП	2	1	2	1	1734	4	4
Итого							28

Таблица 3.3 Расчет численности ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках	Штатная численность
Начальник цеха	ИТР	14	1	1	1
Мастер	ИТР	11	2	1	2
Технолог	ИТР	13	2	1	2
Начальник отдела	ИТР	11	1	1	1
Итого	ИТР				6

Таблица 3.4 Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени, $T_{\text{кал}}$	365	4380
2.	Выходные дни	182,5	2190
3.	Номинальный фонд рабочего времени, $T_{\text{номр}}$	182,5	2190
4.	Эффективный фонд рабочего времени, $T_{\text{эфр}}$	144,5	1734

Таблица 3.5 График сменности рабочих

Номер смены	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	20-8	А	С	А	С	А	С	А	С	А	С	А	С	А	С	А	С
2	8-20	В	Д	В	Д	В	Д	В	Д	В	Д	В	Д	В	Д	В	Д
Отдых		С	А	С	А	С	А	С	А	С	А	С	А	С	А	С	А
		Д	В	Д	В	Д	В	Д	В	Д	В	Д	В	Д	В	Д	В

### 3.3 Организация оплаты труда

На НПЗ оплата труда рабочих повременно - премиальная, на основе часовых тарифных ставок, установленных и утвержденных на предприятии, присвоенных квалификационных разрядов и фактически отработанного времени.

Труд руководителей, специалистов и служащих оплачивается согласно установленной разрядной таблицы за фактически отработанное время.

Рабочим руководителям и специалистам работа в ночное время оплачивается в повышенном размере на 40% и в вечернее время на 20%.

Компенсационная доплата выплачивается в размере 10% за тяжелые условия труда.

Работа в праздничные дни оплачивается работникам, труд которых оплачивается по часовым тарифным ставкам - в размере двойной часовой тарифной ставки. Тарифный фонд заработной платы рассчитывается на основе тарифной сетки (табл. 3.6).

Таблица 3.6 Штатное расписание

Наименование	Категория	Кол. шт.ед.	Т/ставка (руб/час)
Инженерно-технические работники	ИТР	6	180
Основные рабочие	ОР	16	160
Вспомогательные рабочие	ВР	8	140
Младший обслуживающий персонал	МОП	4	120
Итого		34	

Для примера приведен расчет месячной заработной платы основных рабочих (16 человек).

Зарплата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{ноч}} + D_{\text{празд}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{р.к.}} + D_{\text{усл.тр.}}$$

где  $Z_{\text{тар}}$  - тарифная ЗП, руб.;

$D_{\text{ноч}}$  - доплата за работу в ночное время, руб.;

$D_{\text{празд}}$  - доплата за работу в праздничные дни, руб.;

$D_{\text{прем}}$  - премиальная ЗП, руб.;

$D_{\text{р.к.}}$  - районный коэффициент, руб.;

$D_{\text{усл.тр}}$  - компенсационная доплата за условия труда, руб.

Тарифная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{ст}} * T_{\text{фак}} * H,$$

где  $T_{\text{ст}}$  - тарифная ставка данной категории рабочих, руб./ч.;

$$T_{\text{фак}} = 192 \text{ ч.};$$

$H$  - количество рабочих данной категории, человек;

$$Z_{\text{тар}} = 160 * 192 * 16 = 496640 \text{ (руб.)}$$

Доплата за работу в ночное время [20]:

$$D_{\text{ноч}} = 0,4 * T_{\text{ст}} * T_{\text{ноч}} * H,$$

где  $T_{\text{ст}}$  - почасовая тарифная ставка, руб.;

$$D_{\text{ноч}} = 0,4 * 496640 = 198656 \text{ (руб.)}$$

Доплата в праздничные дни:

$$D_{\text{празд}} = T_{\text{празд}} * T_{\text{ст}} * 2 * H;$$

где  $T_{\text{празд}}$  - количество часов, отработанное в праздники, ч;

(1 и 9 мая -  $T_{\text{празд}} = 24$  часа)

$$D_{\text{празд}} = 24 * 160 * 2 * 16 = 122880 \text{ (руб.)}$$

Премиальная ЗП:

$$D_{\text{прем}} = Z_{\text{тар}} * \text{Прем} / 100 \%$$

где  $Z_{\text{тар}}$  - тарифная ЗП, руб.;

Прем - Премиальные, % за май 2018 года. Прем = 20%, т.к. станция недействующая.

$$D_{\text{прем}} = 496640 * 20 / 100 = 99328 \text{ (руб.)}$$

Компенсационная доплата за тяжелые условия труда:

$$D_{\text{усл.тр}} = Z_{\text{тар}} * 10 : 100,$$

$$D_{\text{усл.тр}} = 496640 * 0,1 = 49664 \text{ (руб.)}$$

$$Z_{\text{осн}} = 496640 + 198656 + 122880 + 99328 + 49664 = 967168 \text{ (руб.)}$$

Итак, основная ЗП 16 основных рабочих с учетом районного коэффициента за май месяц составит:

$$\text{ЗП} = 967168 * 1,3 = 1257318,4 \text{ (руб.)}$$

$$\text{ЗП} = \text{З}_{\text{осн}} + \text{З}_{\text{доп}},$$

где  $\text{З}_{\text{осн}}$  - основная ЗП, руб.;

$\text{З}_{\text{доп}}$  - дополнительная ЗП, руб.;

$$\text{З}_{\text{доп}} = \text{З}_{\text{осн}} * \text{К} : \text{T}_{\text{кал}},$$

К - число законных невыходов, дней;

$\text{T}_{\text{кал}}$  - календарный фонд работы одного среднесписочного рабочего, дней;

$$\text{З}_{\text{доп}} = 1257318,4 * 48 : 365 = 165345,98 \text{ (руб.)}$$

ЗП 16 основных рабочих за месяц составит:

$$\text{ЗП} = 165345,98 + 1257318,4 = 1422664,38 \text{ (руб.)}$$

Аналогично производится расчет месячного фонда ЗП всех работающих на заводе. Месячный и годовой фонд ЗП представлен в табл. 3.7

Таблица 3.7 Месячный и годовой фонд ЗП

№	Наименование	Численность, чел	МФЗП, тыс. руб	ГФЗП, тыс. руб
1.	Инженерно-технические работники (ИТР)	6	499,53	5994,32
2.	Основные рабочие (ОР)	16	1422,67	17071,97
3.	Вспомогательные рабочие (ВСР)	8	607,35	7288,14
4.	Младший обслуживающий персонал (МОП)	4	260,29	3123,49
5.	Итого	34		33477,92

### 3.4 Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах:

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен.

Таблица 3.4.1 Расчёт годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед. изм.	Цена, руб	Расход, кг		Затраты, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
1	2	3	4	5	6	7
Смесь хлороформ-бензол	т	17713	0,00097	901,935	0,01718	15975,974
Едкий натр	т	19232	0,01286	11957,6	0,24732352	226105,92
Фильтрованная вода	т	4130	0,0006	0,0025	0,4130	10,325
Сукно шинельное	т	100	0,0002	0,00004	0,02	0,004
Сжатый воздух	м <sup>3</sup>	28	0,09	83684,7	0,00252	2343,717
Пар собственный	гКал	8,396	3	2789490	0,02518	23420,50
<b>Итого</b>					<b>0,7979</b>	<b>267856,44</b>

### Расчет годовой потребности в электроэнергии

Таблица 3.4.2 Расчёт потребности в энергоресурсах

Наименование оборудования	Мощность (суммарная), кВт	Эффективный фонд времени оборудования, ч	Суммарно-потребляемая электроэнергия, кВт*ч
Оборудование	35,4	6924	245109,6
Освещенность	14,8	6924	102475,2
<b>Итого</b>			<b>347584,8</b>

Таблица 3.4.3 Расчёт амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
1	2	3	4
1. Здания			
1.1 Здание 1	178,57	0,145	25,89

1.2 Здание 2	2857,14	0,145	414,29
1.3 Здание 3	107142,86	0,145	15535,71
<b>2. Рабочие машины и оборудование</b>			
2.1 Теплообменник	500000,00	0,077	77000,00
2.2 Ректификационная колонна	1500000,00	0,083	249000,00
2.3 Емкость для сбора бензола	360000,00	0,083	59760,00
2.4 Воздушный холодильник	600000,00	0,077	92400,00
2.5 Сборник хлороформа	360000,00	0,083	59760,00
2.6 Компрессор	200000,00	0,083	49800,00
2.7 Насос	40000,00	0,083	6640,00
2.8 Водяной холодильник	150000,00	0,077	2310,00
<b>Итого:</b>	<b>3820178,57</b>		<b>612645,89</b>

### Расчёт калькуляции производства

Таблица 3.4.3 Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (Q=50137 т/год)

Статьи затрат	Ед. изм.	Затраты на единицу готовой продукции	Затраты на весь объем
1	2	3	4
1. Сырье	тыс. руб.	0,7979	267856,44
2. Электроэнергия на технологические нужды	тыс. руб	0,81	40610,97
3. Топливо на технологические нужды	тыс. руб	4,5271	2637,21
4. Заработная плата производственных рабочих	тыс. руб	0,3405	17071,97
4.1. Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (30%)	тыс. руб	0,1022	5121,59
Итого условно-переменных издержек	тыс. руб	6,6477	333298,15
5. Общепроизводственные накладные расходы			
5.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
• Амортизация оборудования;	тыс. руб	0,1589	7968,6345

<ul style="list-style-type: none"> <li>Ремонт оборудования;</li> </ul>	тыс. руб	0,0700	3512,379
<ul style="list-style-type: none"> <li>Заработная плата ремонтного персонала;</li> </ul>	тыс. руб	0,1453	7288,14
<ul style="list-style-type: none"> <li>Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%).</li> </ul>	тыс. руб	0,04359	2186,442
5.2. Заработная плата ИТР	тыс. руб	0,1195	5994,32
<ul style="list-style-type: none"> <li>Отчисление на соц. нужды ИТР (30%)</li> </ul>	тыс. руб	0,3585	1798,296
5.3. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс. руб	0,0623	3123,49
<ul style="list-style-type: none"> <li>Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (30%)</li> </ul>	тыс. руб	0,01869	937,047
5.4. Охрана труда	тыс. руб	0,00015	7,520
<ul style="list-style-type: none"> <li>Спецмолоко</li> </ul>	тыс. руб	4,09 $\square 10^{-5}$	2,0506
<ul style="list-style-type: none"> <li>Пожарный инвентарь(огнетушители)</li> </ul>	тыс. руб	1,59 $\square 10^{-5}$	0,07971
<ul style="list-style-type: none"> <li>Аптечка</li> </ul>	тыс. руб		
<b>Цеховая (производственная) себестоимость (1+2+3+4+5)</b>	тыс. руб	110,2781	699414,729
6. Управленческие расходы (5% от цеховой себестоимости)	тыс. руб	5,5139	39970,7364
<b>Заводская себестоимость (цеховая себестоимость)</b>	тыс. руб	115,792	739385,4654
7. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс. руб	1,1579	7993,85
<b>Полная себестоимость (заводская себестоимость)</b>	тыс. руб	16,103	807379,3154
<b>Условно-переменные издержки</b>	тыс. руб	6,6477	333298,15
<b>Условно-постоянные издержки</b>	тыс. руб	9,455	474081,1654

### 3.5 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции принимаем 10 % [15].

$$Ц = 16,103 * (1 + 10/100) = 17,713 \text{ ( тыс.руб/т).}$$



## Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа: определение точки безубыточности, т. е. минимального объёма продаж, начиная с которого предприятие не несёт убытков.

$$V_{\text{реал}} = \text{Изд.пост} + \text{Изд.пер}$$

$$V_{\text{реал}} = 333298,15 + 474081,1654 = 474081,1654 \text{ тыс. руб.}$$

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{\text{кр}} = \frac{\text{Изд.пост}}{Ц - \text{Изд.пер}}, \text{ тыс. тонн,}$$

где Ц – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

Изд.пер – удельные переменные издержки.

$$Q_{\text{кр}} = 474081,1654 / (17,713 - 6,6477) = 42843,95 \text{ т;}$$

2. Графическим способом:

**Точки безубыточности** - минимальный объём продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков.

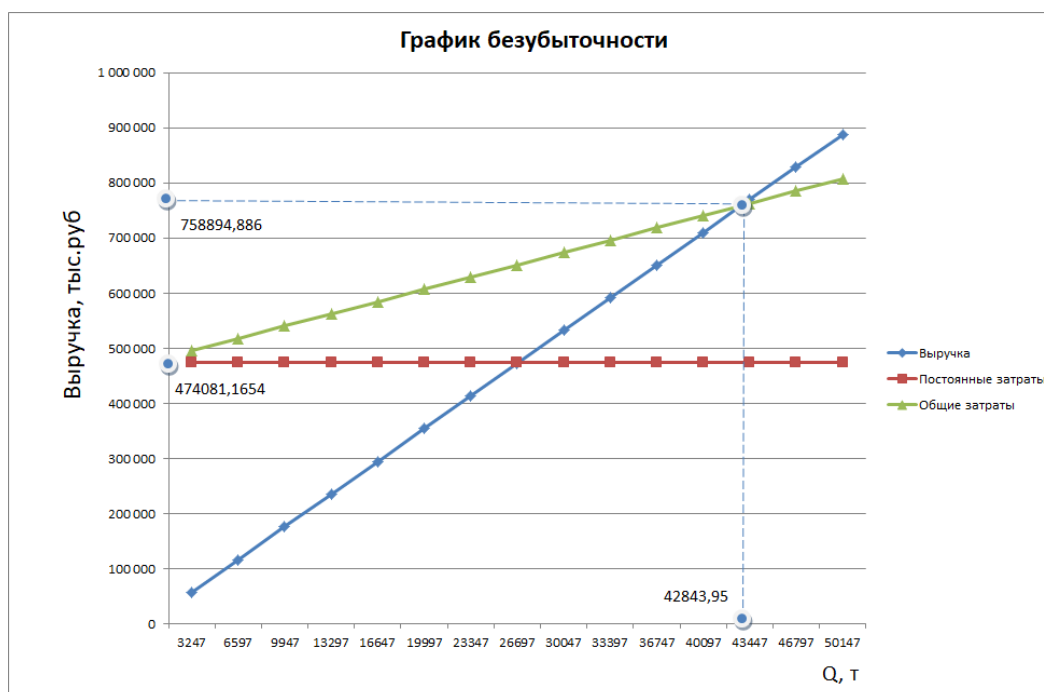


Рис. 1.1 График безубыточности при N= 50137 т/год.

Из графика видно, что точка безубыточности составляет 42843,95 т/год.

### 3.6 Определение технико-экономических показателей

Таблица 3.6.1 Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	т	50147
2. Объем продаж	т	50147
3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	17,713
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	888253,8110
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	807379,3154
5.1.Издержки условно-переменные	тыс. руб.	333298,15
5.2.Издержки условно-постоянные	тыс. руб.	474081,1654
6. Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	80874,495
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	16174,899
8. Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	64699,595
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	16,103
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	3820178,57
11. Численность основных рабочих	чел.	28
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	150720,663
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	0,232
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	4,300
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	31723,350
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	8,0135
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	73,3108
18. Критический объем продаж ( $Q_{кр.}$ )	тыс. т	42843,95
19. Критический объем продаж ( $Q_{кр.}$ )	тыс. руб.	758894,886

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2К31	Семенова Надежда Максutowна

<b>Институт</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	НОЦ Н.М. Кижнера
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	«Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><b>Объект исследования</b> – ситчатая ректификационная колонна для установки разделения бинарной смеси хлороформ-бензол.</p> <p><b>Рабочая зона</b> – технологический участок для ректификации.</p> <p><b>Область применения</b> - химическая промышленность.</p> <p><b>Рабочее место</b> - компьютерный класс</p>
--	---

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> </ul>	<p>1.1. Выявление вредных факторов при эксплуатации объекта исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредные вещества (хлороформ-бензол) СанПиН 2.2.2.1332-03, освещенность СНиП 23-05-095, производственный шум СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96, вибрация СанПиН 2.2.4/2.1.8.566-96;</li> <li>- микроклимат СанПиН 2.2.4.548–96</li> <li>- вредное воздействие компьютера СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03</li> </ul> <p>1.2. Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации установок:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пожары, взрывы, утечки, электричество;</li> <li>- пожаровзрывоопасность (оборудования, работающие под давлением и наличие легко воспламеняющих жидкостей) СанПиН 2.6.1.1192-03</li> </ul>
--	---

<ul style="list-style-type: none"> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– Обоснование мероприятий по защите окружающей среды</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вредные вещества, которые выделяются или используются вовремя производственного процесса в атмосферу (пары хлороформа и бензола);</li> <li>- рассматриваются решения по обеспечению экологической безопасности</li> </ul>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>3.1. Перечень возможных ЧС при эксплуатации установки;</p> <p>3.2. Безопасность при чрезвычайных ситуациях;</p> <p>3.3. Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла;</li> <li>2) в случае стихийных бедствий отключение воды и электричества;</li> <li>3) организационная эвакуация работающих</li> </ol>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014);</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации</li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Е.В.	к.х.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К31	Семенова Надежда Максумовна		

## **4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

Разрабатываемая установка относится к категории опасных производственных объектов в соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 г. № 116-ФЗ [16] по пунктам:

- получение, переработка легковоспламеняющихся и горючих жидкостей;
- использование оборудования, работающего под давлением более 0,07 МПа, применение температуры среды до 360 °С.

### **4.1 Производственная безопасность**

Безопасные условия труда, в первую очередь, обеспечиваются комплексом профилактических мероприятий, соответствующих созданию таких условий труда, когда суммарное воздействие всех факторов на организм человека не превышает установленных предельно-допустимых концентраций.

Данная работа выполнялась по расчету ректификационной колонны для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол в г. Томск, который относится к 1 группе административного района.

Установка предназначена для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол с получением:

- дистиллята (90% хлороформа; 10% бензола);
- кубового остатка (5% бензола; 95% хлороформа).

Сырье (хлороформ-бензол) являются токсичными, пары их с воздухом образуют взрывоопасные смеси. В процессе перегонки продукты нагреваются выше температуры самовоспламенения, что может привести к возникновению пожара при поступлении перегретых жидкостей наружу (при разгерметизации).

Пары углеводов оказывают вредное воздействие на нервную систему человека, вызывают острые и хронические отравления: головную боль, головокружение, сердцебиение, слабость, психическое возбуждение, беспричинную веселость, сухость во рту, тошноту, потерю сознания.

Поддержание комфортных условий труда и отдыха ведет к повышению производительности труда. Поддержание безопасности на работе и отдыхе способствует сохранению жизни и здоровья человека в результате уменьшения, как числа несчастных случаев, так и темпов роста болезней под воздействием отрицательных факторов, вызванных оборудованием или окружающей средой, воздействием природы и экологическими катастрофами и чрезвычайными обстоятельствами.

Данный раздел выполняется с целью проанализировать вредные и опасные факторы, а также средства защиты от них. Приводится характеристика средств взрывозащиты и прочие. Проводится анализ условий труда на соответствие требованиям нормативных документов.

#### **4.1.1 Выявление вредных факторов на химическом производстве при разработке и эксплуатации ректификационной колонны**

Ректификационная колонна находится на химическом производстве в Томской области. В данной дипломной работе в качестве сырья использовалась смесь хлороформ-бензол. Так как аппарат используется в производственных целях, следовательно, имеет значимую производительность, что означает используемое количество смеси может иметь вредные воздействие.

Бензол — токсичное вещество. По ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [17] предельно допустимая концентрация (ПДК) паров бензола в

производственном помещении составляет  $15 \text{ мг/м}^3$ . Данный показатель соответствует 2 классу опасности, то есть, как высоко опасный фактор.

Вдыхание хлороформа пагубно влияет на работу центральной нервной системы. По ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» предельно допустимая концентрация (ПДК) паров хлороформа в производственном помещении составляет  $10 \text{ мг/м}^3$ . Данный показатель соответствует 2 классу опасности, то есть, как высоко опасный фактор.

При работе с ректификационной колонной необходимо применять индивидуальные средства защиты, такие как респиратор, каска, спецодежда, перчатки. Также на предприятии необходимо учитывать вредное воздействие освещенности, шумов и вибрации.

#### **4.1.1.1 Освещенность**

Правильно организованное освещение производственных помещений весьма благотворно отражается на работоспособности персонала и его здоровье. Недостаток света, наоборот, приводит к утомляемости и раздражительности человека.

Следовательно, для сохранения работоспособности в течение рабочей смены необходимым условием является рациональное освещение помещений и рабочих мест, которое обеспечивается естественным и искусственным освещением согласно СНиП 23-05-095 [18]. Нормы освещенности 300-500 Лк.

Город Томск относится к 1 группе административного района. Характеристика зрительной работы средней точности, поэтому разряд зрительной работы принимаем 26, а освещение должно удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать равномерность освещения, не вызывать слепящего действия, не образовывать резких теней, быть экономичным. Будут установлены лампы в соответствии с нормами СНиП 23-05-095.

#### 4.1.1.2 Производственный шум и вибрации

Шум и вибрация в большей или меньшей степени могут временно активизировать или постоянно подавлять определенные психические процессы организма человека. Действие шума на организм: учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что, в конечном счете, приводит к понижению работоспособности.

В производственных условиях на первый план выступает действие шума на органы слуха; развивается профессиональная тугоухость. Шум и вибрация не только ухудшают самочувствие человека и снижают производительность труда в среднем на 10-15%, но и очень часто приводят к профессиональным заболеваниям.

Шумы создаются работающими приборами, вентиляторами. В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно.

Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с ГОСТ 12.1.003–2014 [19]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА. [5].

Конструктивные средства уменьшения шума основаны на использовании следующих принципов:

1. Экранирование – способность преград создавать зону «звуковой тени»;
2. Звукоизоляция – способность преград отражать звуковую энергию;
3. Звукопоглощение – способность пористых и рыхловолокнистых материалов, а также резонансных конструкций поглощать звуковую энергию.



Для уменьшения аэродинамического шума систем вентиляции, шума газотурбонаддува и газовыхлопа двигателей применяют реактивные и активные глушители. Звукоизоляция источника шума обеспечивается кожухом, а звукоизоляция рабочего места – изолированной кабиной.

Нормирование допустимых уровней вибрации производится в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566–96 [20]. По данному нормативу уровень вибрации в производственных помещениях не должен превышать 123 дБА.

#### **4.1.1.3 Микроклимат**

Микроклимат — климатические условия, созданные в ограниченном пространстве искусственно или обусловленные природными особенностями. Микроклимат закрытых помещений создается искусственно для того, чтобы обеспечить наиболее благоприятные условия для людей и предохранить их от неблагоприятных климатических воздействий. Микроклимат в рабочей зоне определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей. Повышенная влажность затрудняет теплоотдачу организма путем испарений при высокой температуре воздуха и способствует перегреву, а при низкой температуре, наоборот, усиливает теплоотдачу, способствуя переохлаждению. Поддержание оптимального микроклимата возможно только в том случае, если предприятие оснащено установкам кондиционирования микроклимата. В остальных случаях следует обеспечивать допустимые микроклиматические условия, т.е. такие, при которых хотя и могут возникать напряжения терморегуляции организма, но не выходят за пределы его физиологических приспособительных возможностей. Микроклимат производственных помещений определяется назначением помещения и характером технологического процесса. Для нормализации условий труда проводится ряд мероприятий: отопление и вентиляция производственных помещений; механизация производственного процесса; теплоизоляция

нагретых поверхностей; защита рабочих от источников излучения и т. д. Для исключения вредного влияния микроклиматических факторов на организм человека и создания нормальных условий труда в рабочей зоне параметры воздушной среды должны соответствовать СанПин 2.2.4.548-96 [21].

Для измерения температуры воздуха в помещении чаще всего применяют ртутные термометры. Поскольку температура воздуха в лаборатории не является постоянной величиной, ее измеряют в нескольких точках в разное время на высоте 1,3... 1,5 м от уровня пола и на расстоянии не менее 1... 1,5 м от приборов и аппаратов, излучающих тепло, а также от наружных стен.

Параметры микроклиматических условий должны соответствовать СанПиН 2.2.4.548-96 [21].

Температура, влажность и скорость движения воздуха нормированы с учетом сезона года, категории выполняемых физических работ. В процессе обслуживания ректификационной колонны персонал работает стоя, большинство операций связано с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождается умеренным физическим напряжением, поэтому работа относится как средней тяжести, категории 26. Данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1 Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. значение	Допустим значение	Фактич. значение	Допустим значение	Фактич. значение	Допустим значение
Холодный	26	20	19,1-22,0	53	12-75	0,1	0,2-0,4
Теплый		22	21,1-27	55	15-75	0,2	0,2-0,5

В помещении, в котором установлена ректификационная колонна, существуют действующие вентиляция и водяное отопление, которые позволяют

поддерживать необходимую температуру, соответствующую СанПин 2.2.4.548-96 [21].

#### **4.1.1.4 Вентиляция**

Вентиляция— процесс удаления отработанного воздуха из помещения и замена его наружным. В необходимых случаях при этом проводится: кондиционирование воздуха, фильтрация, подогрев или охлаждение, увлажнение или осушение, ионизация и т. д. Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм, технологических процессов, строительных конструкций зданий, технологий хранения и т. д.. По способу подачи в помещение свежего воздуха и удаления загрязненного системы вентиляции делят на естественную, искусственную (механическую) и смешанную. По назначению вентиляция может быть общеобменной и местной.

На исследуемом участке используется естественная вентиляция помещения (аэрация).

Аэрацией называют организованный естественный воздухообмен в помещении. Ее осуществляют через специально предусмотренные регулируемые отверстия в наружных ограждениях с использованием естественных побудителей движения воздуха — гравитационных сил и ветра. Аэрация может обеспечивать весьма интенсивное проветривание помещений.

#### **4.1.1.5 Вредное воздействие компьютера**

Работа по расчету ректификационной колонны предусматривает работу за компьютером. Компьютер оказывает следующие вредные воздействия:

1. Проблемы с мышцами. Длительное сидячее положение негативно сказывается на циркуляции крови в теле.

2. Непосредственного влияния компьютера на позвоночник сегодня не выявлено. А вот все то же сидячее положение рано или поздно приведет к болям в спине, искривлению позвоночника.

3. Проблемы со зрением. Глаза человека, который по несколько часов в день смотрит в монитор, находятся в постоянном напряжении.

4. Нарушение внимания и умственная усталость в процессе поиска информации на компьютере возникают гораздо быстрее, нежели при работе с другими источниками информации.

5. Влияние компьютера на нервную систему.

Порядок организации работы для лиц, труд которых связан с компьютерной техникой, регулируют согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [22].

Рекомендуется организовывать рабочее время путем чередования работы с использованием компьютера и без него.

Если же работа требует постоянного взаимодействия с монитором (набор текстов, просмотр информации, ввод данных) с напряжением внимания и сосредоточенностью, то рекомендуется организовывать перерывы на 10 – 15 минут через каждые 45 – 60 минут работы. Такие перерывы включаются в рабочее время в силу ТК РФ ст. 109 ч. 1 [23].

#### **4.1.2 Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования**

##### **4.1.2.1 Электробезопасность**

Электрический ток представляет собой опасность, которая не предупреждает о своем присутствии (нет видимых движущихся частей, свечения, запаха, шума), а в случае повреждения электроустановок, в данном случае ректификационной колонны, (нарушения прочности изоляции, отсутствия заземления, неправильного его выполнения, обрыва и т.д.) вокруг места повреждения возникает опасное электрическое поле.

Электрический ток как причина травм отличается рядом особенностей, которые определяют его опасность:

1. Электрический ток незрим, не имеет ни запаха, ни цвета, действует бесшумно, а поэтому не обнаруживается органами чувств до начала его действия на организм;
2. Невозможно без специальных приборов определить наличие напряжения в проводниках;
3. Электрический ток при определенных условиях может оказывать повреждающее действие не только при непосредственном соприкосновении с ним, но и через предметы, которые человек держит в руках, и даже на расстоянии; разрядом через воздух и через землю (например, при падении высоковольтного провода на землю); ток повреждает ткани не только в месте его входа и выхода, но и на всем пути прохождения через тело человека;
4. При действии электрического тока может наблюдаться несоответствие между тяжестью поражения и длительностью его воздействия, и даже случайное точечное прикосновение к токоведущей части электрической установки за долю секунды может вызвать значительные повреждения;
5. Источником поражения могут быть даже предметы, не имеющие никакого отношения к электрической установке, даже сами пострадавшие, пока они соприкасаются с проводником тока для тех, кто оказывает им помощь;
6. Электрическая травма возникает, если пострадавший замыкает собой цепь: проводник - рука – туловище – нога – пол – «земля». Возможны и другие пути прохождения тока, из которых наиболее опасен рука – рука.

Наиболее часто встречаются два вида электротравм: электрический удар и электрический ожог. Ожог также может возникнуть при нахождении пострадавшего вблизи места короткого замыкания, если оно сопровождается электрической дугой.

Ток, проходя через тело пострадавшего, вызывает биологическое действие, обычно поражая при этом сердечно-сосудистую и нервную системы,

которое приводит к остановке дыхания и сердца или к нарушению ритма их работы. Для спасения пострадавшего необходимо как можно быстрее освободить его от действия электрического тока, а затем оказать ему первую медицинскую помощь. Согласно ПЭУ данное рабочее место относится к помещению без повышенной электроопасности, которое характеризуется отсутствием условий, создающих повышенную и, или особую опасность и регламентируется согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [24].

Основные способы и средства электрозащиты:

1. Изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
2. Установка оградительных устройств;
3. Предупредительная сигнализация и блокировки.

Для защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, используют следующие средства:

1. Использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
2. Использование малых напряжений;
3. Электрическое разделение сетей;
4. Защитное заземление;
5. Выравнивание потенциалов;
6. Зануление;
7. Защитное отключение;
8. Средства индивидуальной электрозащиты.

## **4.2 Экологическая безопасность**

Работа с данной ректификационной колонной не оказывает негативного влияния на качество окружающей среды. При ремонтных работах, при авариях возможен выброс бензола и хлороформа в атмосферу. Предлагается комплекс мероприятий и конкретные меры.

#### **4.2.1 Решения по обеспечению экологической безопасности**

Охрана окружающей среды достигается комплексом мероприятий, направленных на предотвращение утечек смеси хлороформ-бензол и сокращение потерь от испарения.

Комплекс проектных мероприятий, направленных на уменьшение воздействия объектов на окружающую среду должен включать:

- принятие герметичных схем приема-откачки;
- обеспечение сбора утечек смеси с оборудования в подземные дренажные емкости с дальнейшим возвратом в технологический процесс;
- подъём на оптимальную высоту труб выбросов организованных источников для улучшения рассеивания;
- закрытый дренаж трубопроводов и оборудования;
- закрытый сброс охлажденных загрязненных стоков;
- применение бессальниковых герметичных насосов;
- отбортовку площадок наружных установок с устройством твёрдого покрытия;
- сбор проливов продуктов из отбортованных площадок в дренажные ёмкости с последующим возвратом на переработку;
- лабораторный контроль за соблюдением нормативов выбросов вредных веществ в атмосферу;

#### **4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

##### **4.3.1. Перечень возможных ЧС при эксплуатации установки, пожар, взрыв**

Данное рабочее место относится к взрывоопасному помещению категории Д [25]. К категории Д относятся помещения, связанные с обработкой негорючих веществ и материалов в холодном состоянии.

Пожарная безопасность на рабочем месте обеспечивается системой предотвращения пожара путем организационных мероприятий и технических

средств, обеспечивающих невозможность возникновения пожара, а также системой пожарной защиты, направленной на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничения ущерба от него согласно ГОСТ Р 22.0.07-95 [26].

Опасными факторами пожара является открытый огонь и искры, повышенная температура воздуха и предметов, пониженная концентрация кислорода в воздухе, обрушение и повреждение зданий, установок, а также взрывы.

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры:

- предотвращение распространения пожара за пределы очага;
- применение конструкций производственных объектов с регламентированным пределом их огнестойкости и горючести;
- эвакуацию людей в случае пожара;
- применение средств индивидуальных и коллективных средств защиты от огня;
- применение средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре;
- организацию пожарной охраны объекта.

На блочном щите управления из средств пожаротушения находятся пенные, порошковые и водные огнетушители.

#### **4.3.2 Безопасность при чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайные ситуации (ЧС) - совокупность таких обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями, поражениями людей, изменением экологической обстановки.

К чрезвычайным ситуациям относятся: производственные аварии, стихийные бедствия, военные конфликты (ФЗ № 68-ФЗ) [27].

В условиях ЧС необходимо знать правила поведения во избежание паники и несчастных случаев.



При возникновении аварии необходимо, в первую очередь, отключить все электроприборы и рубильники, в данном случае отключить ректификационную колонну от сети и рубильник.

При возникновении пожара необходимо отключить ректификационную колонну от сети, вентиляцию, убрать огнеопасные предметы в безопасное место, одновременно, по возможности, ликвидировать очаг.

Средства тушения применять с учетом того, что является источником пожара.

Для тушения горячей одежды использовать воду, для горящих электроустановок - углекислые огнетушители, для тушения воспламененных установок, закрепленных штативом - асбестовое одеяло.

Стихийные бедствия - ураганы, наводнения, землетрясения предотвратить нельзя, поэтому, отключив электричество в здании, его необходимо покинуть или спуститься в подвальное помещение (бомбоубежище).

При возникновении военного конфликта нужно эвакуировать из здания людей или спуститься в подвал (бомбоубежища).

Эвакуационные пути - это пути, ведущие к эвакуационным выходам. Наиболее распространенными путями эвакуации являются проходы, коридоры, фойе и лестницы.

Самое главное - при любой чрезвычайной ситуации сохранять спокойствие и не забывать отключить электроэнергию и электроприборы. Иначе, это приведет к ещё большим разрушениям.

При поступлении сигнала об угрозе нападения противника все работники лаборатории должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, после чего должны удалиться в убежище согласно плану эвакуации из помещения.

#### **4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из Федерального Закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний». Для реализации этих законов приняты Постановления Правительства РФ «О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда», «О службе охраны труда», «О Федеральной инспекции труда» и др.

Управление охраной труда осуществляет блок федеральных органов исполнительной власти, руководимый Министерством здравоохранения Российской Федерации. Оно осуществляет функции государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере здравоохранения и социального развития, социального страхования, условий и охраны труда и т. д.

Функции по контролю и надзору, которые ранее осуществлялись Санэпиднадзором Минздрава России, переданы Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор).

Федеральная служба по труду и занятости (Роструд) осуществляет функции по надзору и контролю в сфере труда, а также государственный надзор и контроль за соблюдением, в частности, трудового законодательства и нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права; установленного порядка расследования и учета несчастных случаев на производстве.

Федеральное агентство по здравоохранению и социальному развитию (Росздрав) организует деятельность по установлению связи заболевания с профессией, государственной службы медико-социальной экспертизы и др.

Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения и социального развития (Росздравнадзор) осуществляет контроль за порядком организации осуществления медико-социальной экспертизы; порядком установления степени утраты профессиональной трудоспособности в результате несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний и др.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) — государственный санитарно-эпидемиологический надзор за соблюдением санитарного законодательства; организует деятельность системы санитарно-эпидемиологической службы РФ.

## Заключение

В процессе проделанной работы был осуществлен расчет ректификационной установки для разделения бинарной смеси бензол-хлороформ.

Произведен расчет диаметра колонны 1800 мм, количество дистиллята и кубового остатка; расход тепла на подогреве и испарение смеси; основные размеры ректификационной установки; число тарелок

Произведен расчет толщины изоляции колонны, а также гидравлический расчет.

Установка ректификационной колонны осуществляется на опору типа 1 с  $G \cdot 10^2 = 0,1$  МН.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии Учебник для вузов - 10-е изд., стереотипное, доработанное. Перепечатано с изд.1973 г. – М.: Альянс, 2004. – 753 с.
2. Плановский А.Н., Николаев П.И.: Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
3. Семакина О.К. Машины и аппараты химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств: учебное пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 154 с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – М.: Академкнига, 2005. –198 с.
5. Каталог Колонные аппараты. Составители Л. И. Коробчанская, А. К. Линтварев, А. Л. Марченко, А. А. Коваленко (УкрНИИхиммаш), В. В. Маруков, В. С. Свеженцев и В. А. Шейнман (ВНИИнефтемаш).
6. ГОСТ 12820-80. Фланцы стальные плоские приварные на Ру от 0,1 до 2,5 МПа. Конструкция и размеры (с Изм. N 1, 2, 3, 4).
7. ГОСТ Р 52857.1-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования
8. ГОСТ 6533-78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры (с Изменениями N 1, 2)
9. ГОСТ Р 52857.4-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
10. ГОСТ 481-80 Паронит и прокладки из него. Технические условия.
- 11.ГОСТ Р 52857.7-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты.
- 12.ГОСТ Р 51273-99. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий (с Изменением N 1)
- 13.ГОСТ Р 52857.5-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
- 14.Дытнерский Ю.А., Процессы и аппараты химической технологии. 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 2010. – 496 с.

15. Рыжакина Т.Г. Менеджмент предприятия: учебное пособие / Т.Г. Рыжакина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 183 с.
16. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 г. № 116-ФЗ.
17. ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
18. СНиП 23-05-095 Естественное и искусственное освещение.
19. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
20. СН 2.2.4/2.1.8.566–96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы.
21. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
22. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
23. ТК РФ ст. 109 ч. 1 Специальные перерывы для обогрева и отдыха.
24. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
25. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
26. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров/
27. Федеральный закон "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" от 21.12.1994 N 68-ФЗ.

## Приложение А

(обязательное)

Графики для нахождения флегмового числа

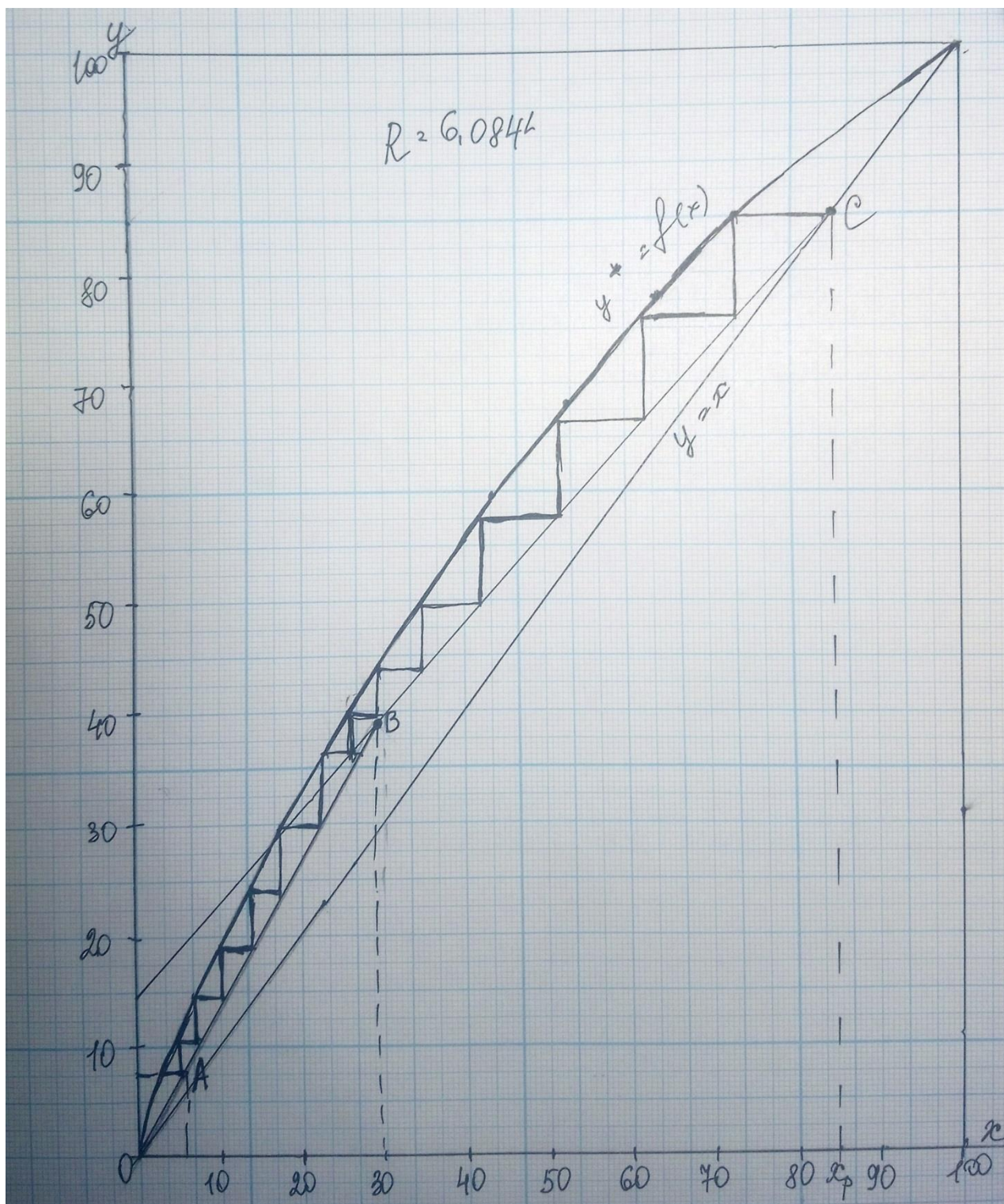


График 1. Нахождение числа теоретических тарелок при  $R=6.084$

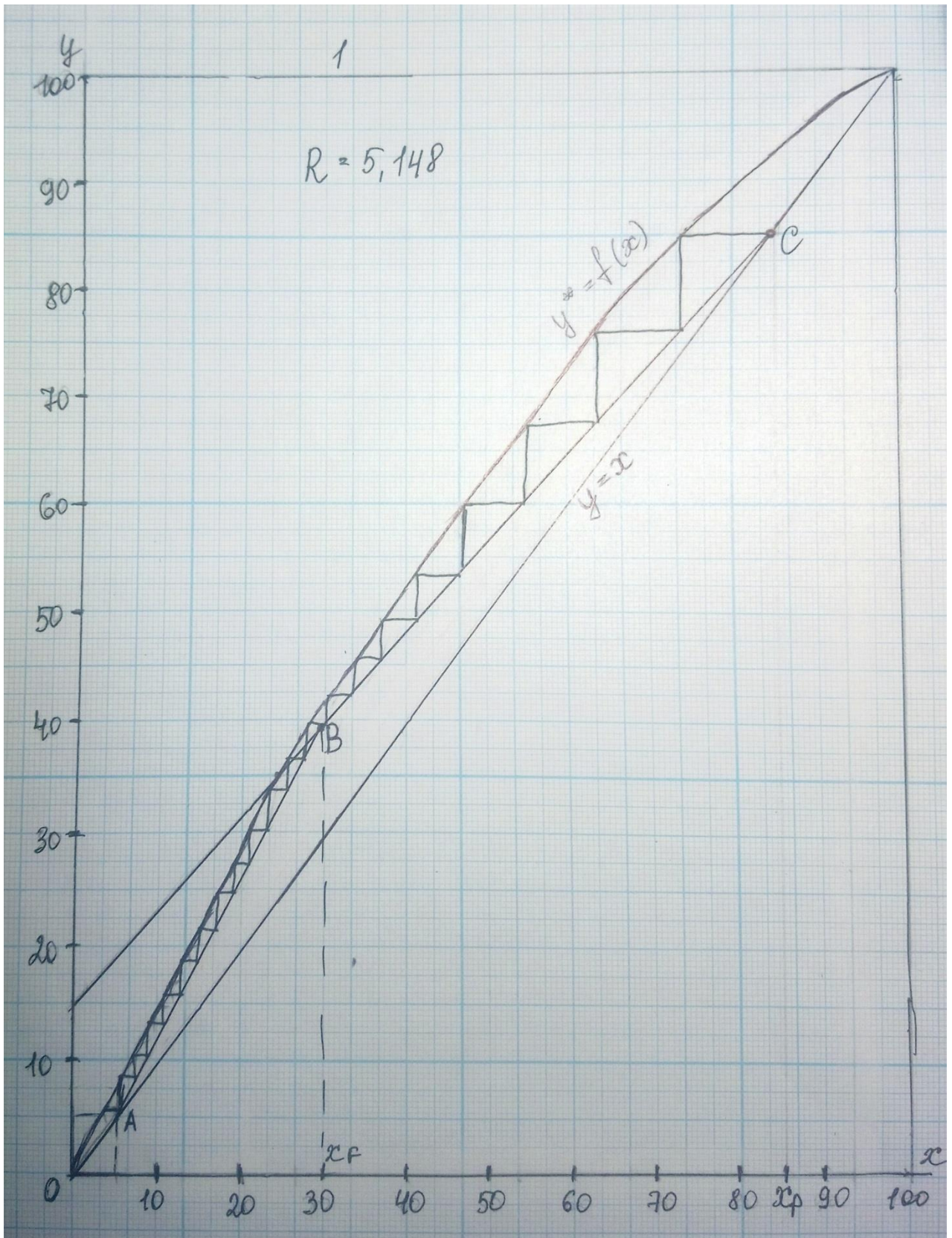


График 1. Нахождение числа теоретических тарелок при  $R=5.148$