

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Кафедра общей химии и химической технологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование ректификационной колонны установки для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол

УДК 665.633.048.33.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2к22	Галеев Вильям Рашитович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общей химии и химической технологии	Тихонов В.В.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Кафедра Общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

И.о.зав. кафедрой

_____ Тихонов В.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К22	Галеев Вильям Рашитович

Тема работы:

Проектирование ректификационной колонны установки для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	23.03.2016, 2270/С
---	--------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Расчет ректификационной колонны непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол</p> <p>Производительность по исходной смеси 220 тонн/сутки</p> <p>Содержание низкокипящего компонента (% массовые): в исходной смеси 40%, в дистилляте 90%, в кубовом остатке 5%.</p> <p>Смесь поступает в колонну при температуре кипения и $P = 0,1$ МПа</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технологический расчет: <ul style="list-style-type: none"> - описание технологической схемы; - материальный и тепловой баланс колонны; - определение основных размеров аппарата. 2. Конструктивно-механический расчет колонны: <ul style="list-style-type: none"> - определение расчетных параметров; - определение толщины стенки обечайки, днища; - расчет фланцевых соединений; - укрепление отверстий; - расчет на прочность и устойчивость. 3. Социальная ответственность: <ul style="list-style-type: none"> - анализ опасных факторов проектируемой производственной среды; - охрана окружающей среды; - защита в чрезвычайной ситуации. 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: <ul style="list-style-type: none"> - анализ производственной мощности; - расчет себестоимости продукции; - анализ безубыточности производства; - определение технико-экономических показателей.
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема (А1). Лист 2– Общий вид ректификационной колонны (А1). Лист 3 –выносные элементы ректификационной колонны. (А1). Лист 4 – Технико-экономические показатели (А2).</p>
--	---

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Сечина Ася Александровна</p>
<p>Безопасность жизнедеятельности и охрана окружающей среды</p>	<p>Ахмеджанов Рафик Равильевич</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p style="text-align: center;">29.02.16г.</p>
--	---

Задание выдал руководитель:

<p style="text-align: center;">Должность</p>	<p style="text-align: center;">ФИО</p>	<p style="text-align: center;">Ученая степень, звание</p>	<p style="text-align: center;">Подпись</p>	<p style="text-align: center;">Дата</p>
<p style="text-align: center;">Доцент</p>	<p style="text-align: center;">Семакина.О.К.</p>	<p style="text-align: center;">к.т.н., доцент</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p style="text-align: center;">Группа</p>	<p style="text-align: center;">ФИО</p>	<p style="text-align: center;">Подпись</p>	<p style="text-align: center;">Дата</p>
<p style="text-align: center;">2к22</p>	<p style="text-align: center;">Галеев Вильям Рашитович</p>		

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>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)
<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)

Цели образовательной программы

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
Ц1	Подготовка выпускников к производственно-технологической деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, конкурентоспособных на мировом рынке.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ООО СИБУР «Томскнефтехим», ОАО «Тоскгазпром», ОАО «КИНЕФ», г. Кириши, Ангарский нефтеперерабатывающий комбинат, ПО «Азот», г. Кемерово, ООО

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
		«ЭльПласт», ООО «Сибметахим, ОАО «Фармстандарт–Томскхимфарм», и др.).
Ц2	Подготовка выпускников к проектной деятельности в области энерго-ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ОАО «ТомскНИПИнефть, ОАО НК «РОСНефть», г. Краснодар, ОАО «Самаранефтехимпроект, ЭЛЕСИ и др.).
Ц3	Подготовка выпускников к научным исследованиям для решения задач, связанных с разработкой новых методов создания процессов, материалов и оборудования, обеспечивающих энерго-ресурсосбережение, экологическую безопасность технологи.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Потребности научно-исследовательских центров РАН, СО РАН (ТПУ, ТГУ, Институт химии нефти СО РАН, Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск, НИОСТ, ООО НПЦ «НООСФЕРА», г. Надым и др).
Ц4	Подготовка выпускников к организационно-управленческой деятельности.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных предприятий и НИИ.
Ц5	Подготовка выпускников к самообучению и непрерывному профессиональному самосовершенствованию.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных предприятий и НИИ.

Содержание

Реферат	8
Введение.....	10
1. Физико-химические основы	13
2. Схема установки.....	14
3. Технологический расчет	16
3.1.Задание и исходные данные	16
3.2.Материальный баланс колонны и определение рабочего флегмового	20
3.3.Расчет скорости пара и диаметра колонны	21
3.4.Гидравлический расчет тарелок.....	21
3.5.Определение числа тарелок и высота колонны	23
4.Тепловой расчет установки	24
6.Конструктивно-механический расчет установки.....	26
6.1. Расчет толщины обечайки	26
6.2. Подбор днища и крышки	28
6.3. Расчет штуцеров.....	29
6.4.Расчет необходимости укрепления отверстий.....	30
6.5.Расчетфланцев.....	36
6.6. Расчет тарелок на прогиб.....	48
6.7. Расчет ветровой нагрузки	51
6.8. Расчет опоры аппарата.....	71
6.9.Расчет толщины тепловой изоляции.....	74
7. Финансовый менеджмент	
ресурсоэффективность и ресурсосбережение	76
8. Социальная ответственность	83
Заключение	100
Список использованной литературы	101
Приложение	103

Реферат

Дипломный проект состоит из пояснительной записки и 4 листов графического материала формата А1. Пояснительная записка содержит 105 с., 14 рис., 17 табл., 20 источников литературы.

В дипломном проекте рассчитана и подобрана ректификационная колонна непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол.

Произведен материальный, технологический, тепловой и конструктивно-механический расчет.

В конструктивно-механическом разделе произведен расчет толщины стенок обечайки и стандартных эллиптических крышки и днища; подбор стандартных штуцеров; расчет укреплений отверстий и фланцевых соединений; расчет тарелок; расчет на ветровую нагрузку; расчет опоры и толщины изоляции.

Ключевые слова: ректификационная колонна, фланец, ситчатая тарелка.

Abstract

The degree project consists of explanatory notes and 4 sheets of A1 format graphic material.
Explanatory note contains 105 p., 14 fig., 17 tab., 20 literature sources.

The diploma project is designed and chosen distillation column with continuous perforated plates for the separation of a binary mixture of chloroform and benzene.

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

The structural and mechanical section calculated the wall thickness of the shell and the standard elliptical tops and bottoms; selection of standard fittings; calculation fortifications holes and flanges; payment of plates; calculation of wind load; payment support and insulation thickness.

Keywords: distillation column, flange, sieve tray.

Введение

Ректификация – процесс разделения гомогенных смесей летучих жидкостей путём двустороннего массообмена и теплообмена между неравновесными жидкой и паровой фазами, имеющими различную температуру и движущимися противоположно друг другу.

Ректификация известна с начала девятнадцатого века, как один из важнейших технологических процессов главным образом спиртовой и нефтяной промышленности. В настоящее время ректификацию всё шире применяют в самых различных областях химической технологии, где выделение компонентов в чистом виде имеет весьма важное значение (в производных органического синтеза, изотопов, полупроводников и различных других веществ высокой чистоты).

Разделение осуществляется обычно в колонных аппаратах при многократном или непрерывном контакте фаз. При каждом контакте из жидкости испаряется преимущественно низкокипящий компонент, которым обогащаются пары, а из паровой конденсируется преимущественно высококипящий компонент, переходящий в жидкость. В результате обмена компонентами между фазами, в конечном счете, пары представляют собой почти чистый низкокипящий компонент. Эти пары, выходящие из верхней части колонны после их конденсации в отдельном аппарате дают дистиллят (верхний продукт) и флегму - жидкость, возвращающую для орошения колонны и взаимодействия с поднимающимися в колонне парами. Снизу удаляется жидкость, представляющая собой почти чистый высококипящий компонент - кубовый остаток (нижний продукт). Часть остатка испаряют в нижней части колонны для получения восходящего потока пара. Достаточно высокая степень разделения однородных жидких смесей на компоненты может быть достигнута путем ректификации

Процессы ректификации осуществляются периодически или непрерывно при различных давлениях: при атмосферном давлении, под вакуумом (для разделения смесей высококипящих веществ), а также под давлением больше

атмосферного (для разделения смесей, являющихся газообразными при нормальных температурах).

Преимущества непрерывной ректификации по сравнению с периодической:

- 1) условия работы установки не изменяются в ходе процесса, что позволяет установить точный режим, упрощает обслуживание и облегчает автоматизацию процесса;
- 2) отсутствуют простои между операциями, что приводит к повышению производительности установки;
- 3) расход тепла меньше, причем возможно использование тепла остатка на подогрев исходной смеси в теплообменнике.

Благодаря перечисленным преимуществам в производствах крупного масштаба применяют главным образом непрерывную ректификацию, периодические процессы ректификации находят применение лишь в небольших, неравномерно работающих производствах.

Ректификационные колонны предназначены для проведения процессов массообмена в химической, нефтехимической и других отраслях промышленности. Колонные аппараты изготавливают диаметром 400-4000 мм для работы под давлением до 1.6 МПа в царговом (на фланцах) исполнении корпуса, для работы под давлением до 4 МПа в цельносварном исполнении корпуса.

В зависимости от диаметра, колонные аппараты изготавливают с тарелками различных типов. Колонные аппараты диаметром 400-4000 мм оснащают стандартными контактными и распределительными тарелками, опорами, люками, днищами и фланцами. На корпусе цельносваренного аппарата предусмотрены люки для обслуживания тарелок.

Большое разнообразие тарельчатых контактных устройств затрудняет выбор оптимальной конструкции тарелок. При этом, наряду с общими требованиями (высокая интенсивность единицы объема аппарата, его стоимость и т.д.) ряд требований может определяться спецификой производства: большим интервалом устойчивой работы при изменении

нагрузок по фазам, способность тарелок работать в среде загрязненных жидкостей, возможностью защиты от коррозии и т.п. Зачастую эти качества становятся преобладающими, определяющими пригодность той или иной конструкции для использования в каждом конкретном процессе.

1. Физико – химические основы

Достаточно высокая степень разделения однородных жидких смесей на компоненты может быть достигнута путем ректификации. Сущность процессов, из которых складывается ректификация, и получаемые при этом результаты можно проследить с помощью $t-x-y$ – диаграммы (рис. 1).

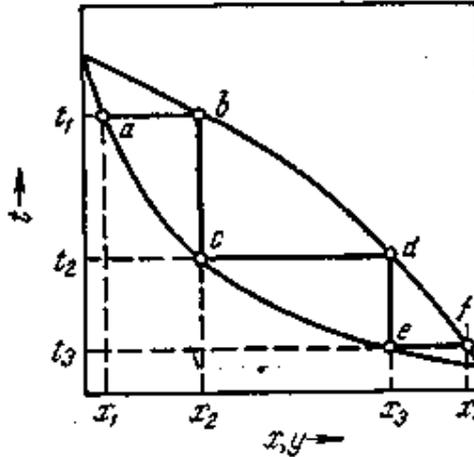


Рисунок 1. Изображение процесса разделения бинарной смеси путем ректификации на диаграмме $t-x-y$

Нагрев исходную смесь состава x_1 до температуры кипения получим находящийся в равновесии с жидкостью пар (точка b). Отбор и конденсация этого пара дают жидкость состава x_2 обогащенную НК ($x_2 > x_1$). Нагрев эту жидкость до температуры кипения t_2 , получим пар (точка d), конденсация которого дает жидкость с еще большим содержанием НК, имеющую состав x_3 , и т. д. Проводя, таким образом, последовательно ряд процессов испарения жидкости и конденсации паров, можно получить в итоге жидкость (дистиллят), представляющую собой практически чистый НК.

Аналогично, исходя из паровой фазы, соответствующей составу жидкости x_4 , путем проведения ряда последовательных процессов конденсации и испарения можно получить жидкость (остаток), состоящую почти целиком из ВК.

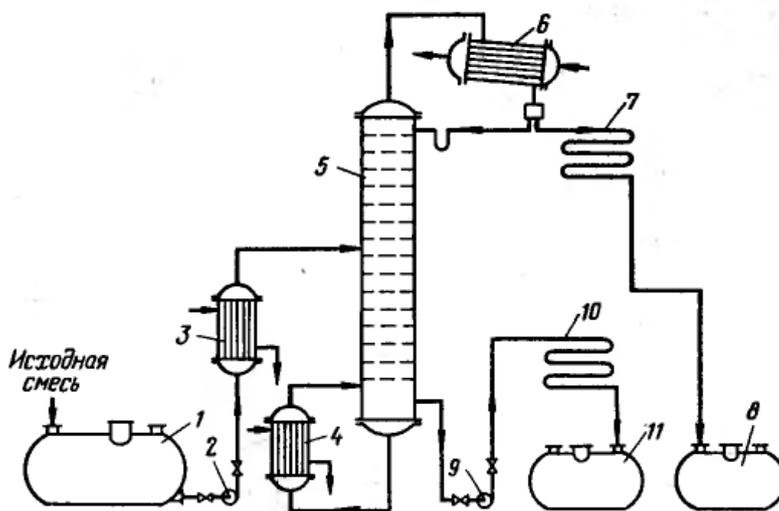
Многочратное контактирование приводит к практически полному разделению исходной смеси.

Таким образом, отсутствие равновесия (и соответственно наличие разности температур фаз) при движении фаз с определенной относительной

скоростью и многократном их контактировании являются необходимыми условиями проведения ректификации.

2. Схема установки

Принципиальная схема ректификационной установки приведена на рис. 2.



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 2. Принципиальная схема ректификационной установки

Исходную смесь из промежуточной емкости 1 центробежным насосом 2 подают в теплообменник 3, где она подогревается до температуры кипения. Нагретая смесь поступает на разделение в ректификационную колонну 5, где состав жидкости равен составу исходной смеси x_F .

Стекая вниз по колонне, жидкость взаимодействует с поднимающимся вверх паром, образующимся при кипении кубовой жидкости в кипятильнике 4.

Начальный состав пара примерно равен составу кубового остатка X_W , т. е. обеднен легколетучим компонентом. В результате массообмена с жидкостью пар обогащается легколетучим компонентом. Для более полного обогащения верхнюю часть колонны орошают в соответствии с заданным флегмовым числом жидкостью (флегмой) состава x_D , получаемой в дефлегматоре 6 путем конденсации пара, выходящего из колонны. Часть конденсата выводится из дефлегматора в виде готового продукта разделения — дистиллята, который охлаждается в теплообменнике 7 и направляется в промежуточную емкость 8.

Из кубовой части колонны насосом 9 непрерывно выводится кубовая жидкость — продукт, обогащенный труднолетучим компонентом, который охлаждается в теплообменнике 10 и направляется в емкость 11.

Таким образом, в ректификационной колонне осуществляется непрерывный неравновесный процесс разделения исходной бинарной смеси на дистилят (с высоким содержанием легколетучего компонента) и кубовый остаток (обогащенный труднолетучим компонентом).

3. Технологический расчет

3.1 Задание и исходные данные

Расчет ректификационной колонны непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол

Производительность по исходной смеси 220 тонн/сутки

Содержание низкокипящего компонента (% мас.)

-в исходной смеси 40%

-в дистилляте 90%

-в кубовом остатке 5%

Смесь поступает в колонну при температуре кипения и $P = 0,1$ МПа

Температура охлаждающей воды в дефлегматоре и давление греющего пара в испарителе подобрать самостоятельно.

3.2 Материальный баланс колонны и определение рабочего флегмового числа

Обозначим массовый расход дистиллята через G_D кг/с, кубового остатка - G_W кг/с, исходной смеси - G_F кг/с. [1, с.351 Пример расчета тарельчатой ректификационной колонны]

Из уравнений материального баланса ректификационной колонны непрерывного действия:

$$G_F = G_D + G_W; \quad (1)$$

$$G_F x_F = G_D x_D + G_W x_W, \quad (2)$$

где G_F , G_D , G_W – массовые расходы питания, дистиллята и кубового остатка; x_F , x_D , x_W – содержание легколетучего компонента в питании, дистилляте и кубовом остатке, массовые доли.

$$G_F = 220 \text{ т/сут} = 2,54 \text{ кг/с}$$

Откуда находим:

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

$$2,54 * 0,4 = G_D * 0,9 + G_W * 0,05$$

$$G_W = 1,49 \text{ кг/с}$$

$$G_D = 1,05 \text{ кг/с}$$

Для расчетов выразим концентрации питания, дистиллята и кубового остатка в мольных долях, X . $M_X=119$ г/моль, $M_B=78$ г/моль – молярные массы бензола и толуола.

$$X=(x_F/ M_X)/(x_F/ M_X +(1-x_F)/ M_B) \quad (3)$$

$$X_F = (40/119)/(40/119+ (100 - 40)/78) = 0,3 \text{ кмоль/кмоль смеси}$$

$$X_P = (90/119)/(90/119+ (100 -90)/78) = 0,85 \text{ кмоль/кмоль смеси}$$

$$X_W = (5/119)/(5/119+ (100 -5)/78) = 0,033 \text{ кмоль/кмоль смеси}$$

Относительный мольный расход питания:

$$F = (x_P-x_W)/(x_F-x_W) = (0,85-0,033)/(0,3-0,033) = 3 \quad (4)$$

Определяем минимальное число флегмы: $R_{\text{мин}}=(x_d-y_f)/(y_f-x_f) = \frac{0,85-0,4}{0,4-0,304} = 4.68$ где $y_f=0.4$ – мольная доля.

Составим $x-y^*$ диаграмму (кривую равновесия) для смеси хлороформ-бензол по данным табл.1.

Таблица 1

Равновесные составы жидкости(x)и пара(y) в мольных % и температуры кипения(t) в °С при 760 мм.рт.ст.

Смесь	x	15	22	29	36	44	54	66	79	100		
Бензол-толуол	y	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
	t	79	78.2	77.3	76.4	75.3	74	71.9	68.9	61,4		

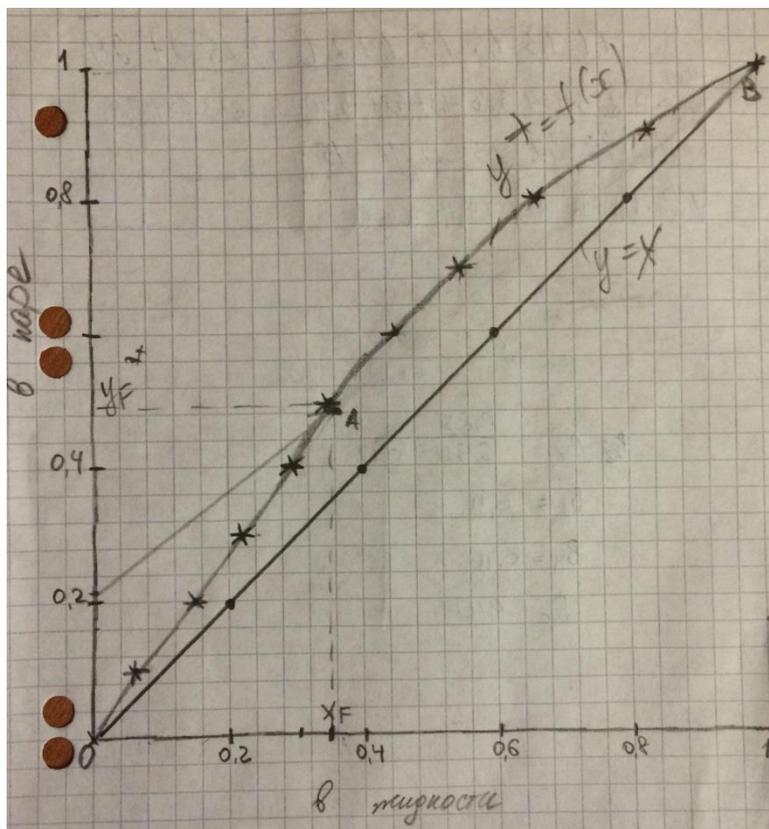


Рисунок 3. $x-y^*$ диаграмма для смеси хлороформ-бензол

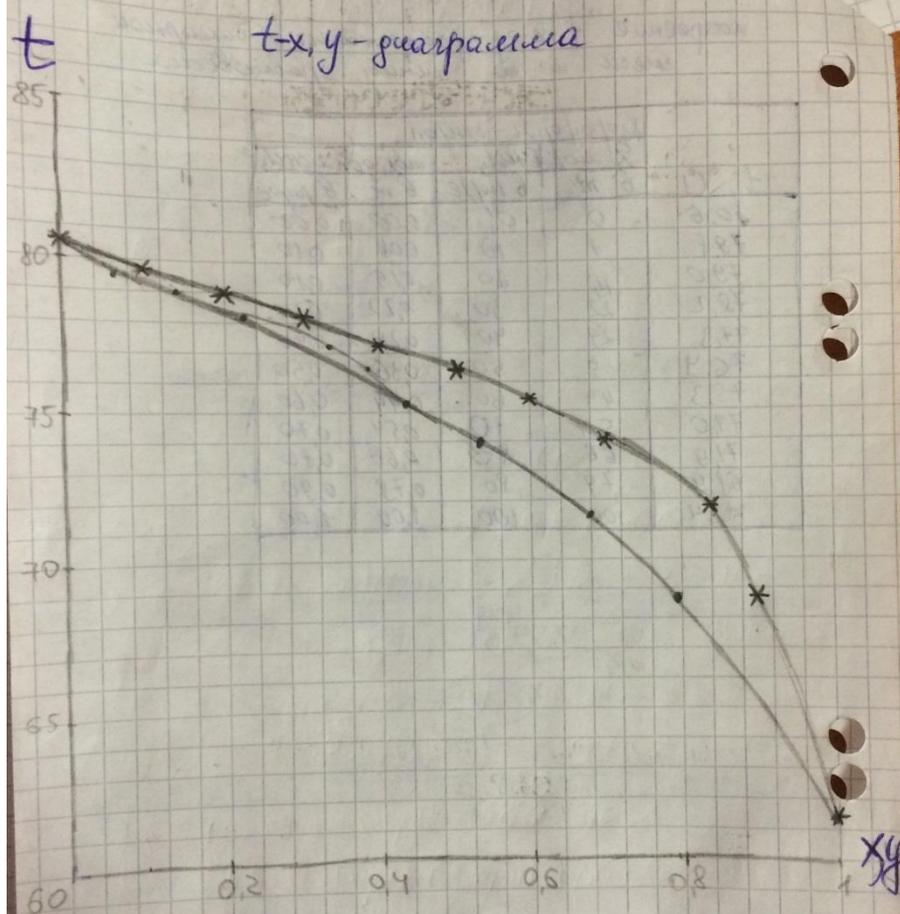


Рисунок 4. $t-x, y$ диаграмма для смеси хлороформ-бензол

Определяем минимальное флегмовое число по уравнению:

$$R_{\text{MIN}} = (X_P - Y_F^*) / (Y_F^* - X_F); \quad (5)$$

Y_F^* - мольная доля бензола в паре исходя из графика равна 49% масс.

Определяем минимальное флегмовое число по уравнению:

$$R_{\text{MIN}} = (X_P - Y_F^*) / (Y_F^* - X_F); \quad (6)$$

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

Задавшись различными значениями коэффициентов избытка флегмы β , определим соответствующие флегмовые числа. Графическим построением ступеней изменения концентраций между равновесной и рабочей линиям на диаграмме $Y-X$ находим N . Определение N приведены в Приложении 1, а результаты в таблице 2:

Результаты расчета

Таблица 2

β	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 полученным значениям строим график зависимости $N(R+1) - R$ (рис. 5) и по графику определяем рабочее флегмовое число $R=6.084$

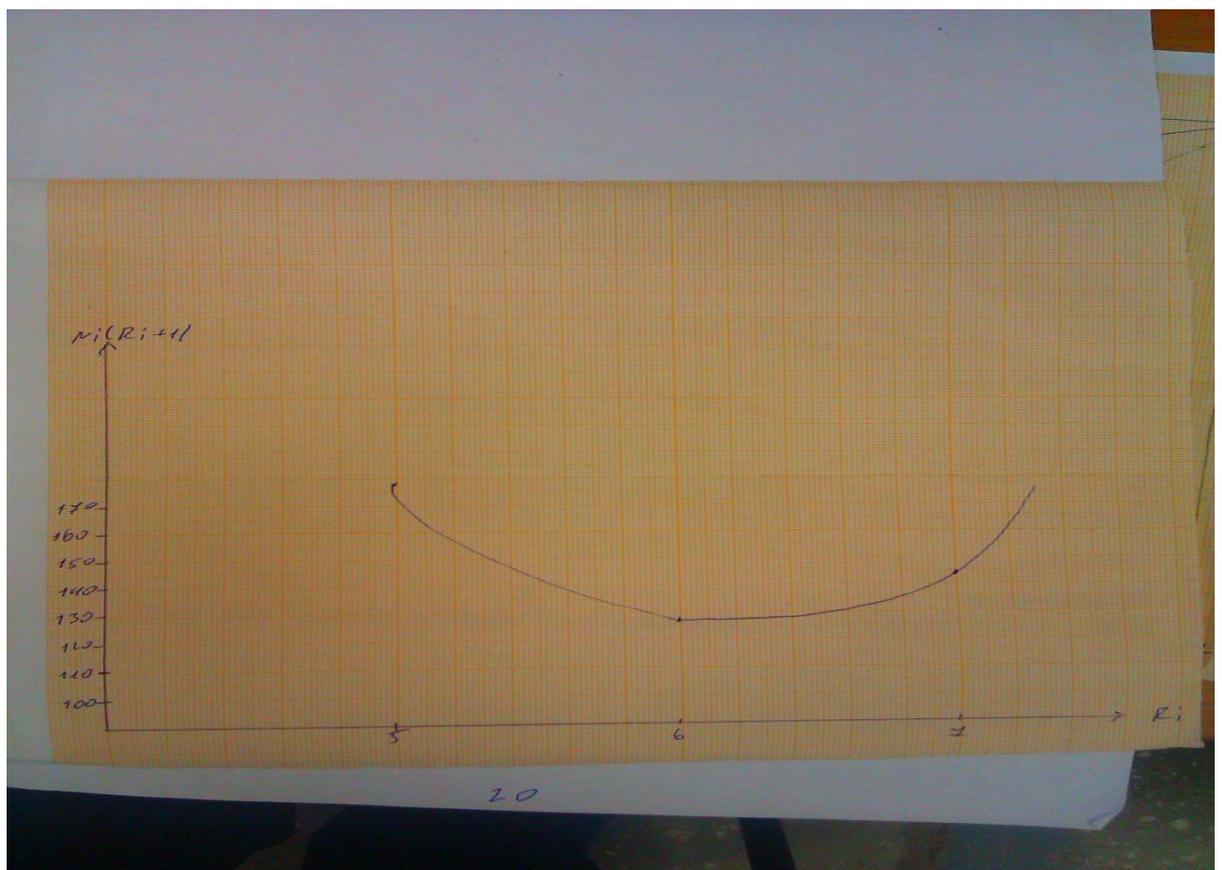


Рисунок 5. Определение оптимального флегмового числа

Уравнение рабочих линий

а) верхней части колонны

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

б) нижней части колонны

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

Средние концентрации жидкости

$$X_{\text{ср. в}} = (X_P + X_F) / 2 = (0,3 + 0,85) / 2 = 0,58 \text{ кмоль/кмоль смеси};$$

$$X_{\text{ср. н}} = (X_F + X_W) / 2 = (0,3 + 0,033) / 2 = 0,17 \text{ кмоль/кмоль смеси.}$$

Средние концентрации пара находим по уравнению рабочих линий

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

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

3.3 Расчет скорости пара и диаметра колонны

Предельную фиктивную скорость пара в верхней и нижней частях колонны $w_{\text{п}}$, при которой происходит захлебывание колонн, определяют по уравнению:

$$w_{\text{п}} = c \sqrt{\rho_{\text{ж}} / \rho_{\text{у}}} \quad (15)$$

где ρ_{x} , $\rho_{\text{у}}$ — средние плотности жидкости и пара, кг/м^3 ; μ_{x} — в $\text{мПа}\cdot\text{с}$.

Найдем плотности жидкости $\rho_{\text{x в}}$, $\rho_{\text{x н}}$ и пара $\rho_{\text{у в}}$, $\rho_{\text{у н}}$ в верхней и нижней частях колонны при средних температурах в них $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$. Средние температуры паров определим по диаграмме $t-x$, y :

$$\text{При } y_{\text{ср. в}} = 0,671 \quad t_{\text{в}} = 75 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \text{При } y_{\text{ср. н}} = 0,208 \quad t_{\text{н}} = 79 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тогда

$$\rho_{\text{у в ср}} = M'_{\text{в}} T_0 / (22,4(T_0 + t_{\text{в ср}})); \quad (16)$$

$$\rho_{\text{у н ср}} = M'_{\text{н}} T_0 / (22,4(T_0 + t_{\text{н ср}})). \quad (17)$$

Отсюда получим:

$$\rho_{\text{у в}} = 103.3 * 273 / (22.4 * 348) = 3.61 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{у н}} = 86.52 * 273 / (22.4 * 352) = 3 \text{ кг/м}^3$$

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

Для удобства, среди плотностей жидких хлороформа и бензола берут среднее значение. $\rho_{\text{x}} = 1411 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{б}} = 815 \text{ кг/м}^3$ [1.с541]

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

Определяем скорость пара в колонне .По данным каталога справочника

“Колонные аппараты” принимаем расстояние между тарелками $h=500 \text{ мм}$. Для ситчатых тарелок по графику находим $c=0,0032$. [1. с. 323]

$$w = 0.032 * \sqrt{(1113/3.317)} = 0.58 \text{ м/с}$$

Объемный расход проходящего через колонну пара при $t_{cp}=(75+79)/2=77\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\begin{aligned} V &= (G_p(R + 1) * 22.4 * T_{cb} * \rho)/(M_p * 3600 * 273) \\ &= (3780 * (6,084 + 1) * 22,4 * 350 * 1003)/(113 * 273 * 3600) \\ &= 1,95 \text{ м}^3/\text{с} \end{aligned}$$

Где $M_p=0,855*119+78*0,145=13$ кг/кмоль

Диаметр колонны : $D=\sqrt{(V/(0.785*w))} = \sqrt{(1.95/(0.785*0.58))}=2.15$ м

По каталогу справочнику берем $D=1800$ мм .Тогда скорость пара в колонне :

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

3.4 Гидравлический расчет тарелок

Принимаем следующие размеры ситчатых тарелок :диаметр отверстий 4 мм, высота сливной перегородки 40 мм, свободное сечение тарелки (суммарная площадь отверстий) 8 % от общей площади тарелки .

Рассчитываем гидравлическое сопротивление тарелки в верхней и нижней части колонны : $\Delta P=\Delta P_{сух} + \Delta P_{\sigma} + \Delta P_{пж}$

а)верхняя часть колонны

Гидравлическое сопротивление сухой тарелки:

$$\Delta P_{сух} = \xi * w^2 * \rho_{п} = 1.82 * 10^2 * \frac{3.617}{2} = 320 \text{ Па}$$

Где $\xi = 1,82$) – коэффициент сопротивления неорошаемых ситчатых тарелок со свободным сечением 7 -10% . $w =0,8/0,08=10$ м/с-скорость пара в отверстиях тарелки.

Сопротивление обусловленное силами поверхностного натяжения $\Delta P_{\sigma}=4*\sigma/d_0=4*21.5*10^3/0.004=21.5$ Па ,где $\sigma=21,5*10^{-3}$ н/м –поверхностное натяжение при средней температуре в верхней части колонны 77°C (у бензола и хлороформа практически одинаково) . $d_0=0,004$ – диаметр отверстий тарелок.

Периметр сливной перегородки найдем решая систему уравнени :
Значение ширины сливной перегородки b для тарелки находится из системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\pi^2}{2} + (R - b)^2 = R^2 \\ 0,1\pi R^2 = 2/3\pi b \end{cases} \quad (28)$$

Решив систему уравнений получаем значение $b=0,289$ м $\Pi=1,32$ м

Высота слоя над сливной перегородкой:

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

где $V_{ж} = G_p * R * M_{ср} / (M_p * \rho_{ж}) = 3780 * 6,084 * 101 / (3600 * 104 * 1113) = 0,00557 \text{ м}^3/\text{с}$
-объемный расход жидкости. $M_{ср} = 0,58 * 119 + 0,72 * 78 = 101 \text{ кг/кмоль}$ -средняя мольная масса жидкости.

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

Сопротивление парожидкостного слоя

$$\Delta P_{пж} = 1,3 * h_{пж} * \rho_{пж} * g * R = 1,3 * 0,0675 * 0,5 * 1113 * 9,81 = 479 \text{ Па},$$

где R -отношение плотности жидкостного слоя к парожидкостному, принятое равным 0,5.

Общее гидравлическое сопротивление тарелки в верхней части колонн :

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

Б) нижняя часть колонны

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

$$\Delta P_{\sigma} = 4 * \sigma / d_0 = 4 * 20,5 * 10^{-3} / 0,004 = 21,5 \text{ Па-где при } 79 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \sigma = 20,5 * 10^{-3} \text{ н/м}$$

$$V_{ж} = \left(G_p * \frac{R}{M_p} + \frac{G_F}{M_F} \right) * \frac{M_{ср}}{\rho_{ж}} = \left(3780 * \frac{6,084}{113} + \frac{9144}{90,46} \right) * \frac{85}{1113} = 0,00645 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

- где $M_F = 0,304 * 119 + 0,696 * 78 = 90,46 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$, $M_{ср} = 0,17 * 119 + 0,83 * 78 = 85 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$

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

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

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

Общее гидравлическое сопротивление тарелки в нижней части колонны

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

Проверим соблюдается ли при расстоянии между тарелками $h=0,3$ м необходимое для нормальной работы тарелок условие $\lambda > 1,8 * \Delta p / (\rho_{ж} * g)$.

Для тарелок верхней части колонны у которых гидравлическое сопротивление Δp больше чем у тарелок нижней части :

$$1,8 * \frac{\Delta p}{\rho_{ж}} * g = 1,8 * \frac{828,5}{1113 * 9,8} = 0,13 \text{ значит соблюдается}$$

Проверим равномерность работы тарелок –рассчитаем минимальную скорость пара в отверстиях w_0 , достаточную чтобы тарелка работала всеми отверстиями : $w_0 = 0,67 * \sqrt{\frac{g * h_{пж} * \rho_{ж}}{\xi * \rho_{н}}} = 0,67 * \sqrt{\frac{9,8 * 1113 * 0,0703}{1,82 * 3,3}} = 7,5 \frac{м}{с}$
 Расчитанная скорость $7,5 \frac{м}{с}$ значит тарелки будут работать всеми отверстиями.

3.5 Определение числа тарелок и высота колонны

По диаграмме у-х (Приложение 2 график 3) находим число ступеней в верхней части колонны $n_T' = 6$, в нижней $n_T'' = 12$, всего 18 ступеней ;

Число тарелок рассчитываем по уравнению: $n = n_T / \eta$;

Для определения числа среднего к.п.д. тарелок η находим коэффициент относительной летучести разделяемых компонентов $\alpha = P_6 / P_T$ и динамический коэффициент вязкости исходной смеси μ при средней температуре в колонне 77°C .

При этой температуре давление насыщенного пара хлороформа $P_x = 1287$ мм.рт.ст и бензола $P_6 = 683$ мм.рт.ст откуда $\alpha = 1287 / 683 = 1,88$.

Динамический коэффициент вязкости бензола при 77°C равен $0,35$ сП, и хлороформа $0,35$ сП .Принимаем динамический коэффициент вязкости исходной смеси $\mu = 0,35$ сП.

Тогда $\mu\alpha = 1,88 * 0,35 = 0,659$; По диаграмме [1,с323] находим $\eta = 0,52$; Длина пути жидкости на тарелке $L = D - 2 * b = 1,8 - 2 * 0,289 = 1,22$ м. По графику [1.с323] находим значение поправки на длину пути $\Delta = 0,17$. Средний к.п.д. тарелок находим $\eta_L = \eta(1 + \Delta) = 0,52 * (1 + 0,17) = 0,608$;

Рассчитаем к.п.д. тарелки по критериальной формуле;

Предварительный расчет коэффициента диффузии $D_{ж}$:

$$D_{ж} = 7,4 * 10^{-12} * \frac{\mu^{0,5} * T}{\mu_{ж} * U^{0,6}} = 7,4 * 10^{-12} * \frac{90,46^{0,5} * 350}{0,35 * 184^{0,6}} = 3 * 10^{-9} \text{ м}^2 / \text{с}$$

Где $U = 66,14 + 1178 = 184$, $\mu_{ж} = 0,35$ сП; $T = 273 + 77 = 350$ К;

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

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

$$\text{свободного сечения тарелки; } U = U_{\text{хд}} + U_{\text{бл}} = \frac{14,8+3,7+3 \cdot 24,6}{1395,5} + \frac{6 \cdot 14,8+6 \cdot 3,7-15}{815} = 184$$

$$\text{Средний КПД тарелки : } \eta_0 = 0,068 \cdot K_1^{0,1} \cdot K_2^{0,115} = 0,068 \cdot (2,88 \cdot 10^5)^{0,1} \cdot (0,73 \cdot 10^4)^{0,115} = 0,664 \text{ .Значение близко к } \eta_1 = 0,608;$$

$$\text{Число тарелок в верхней части колонны : } n' = n_T / \eta_c = 6 / 0,608 = 9.$$

$$\text{в нижней части колонны } n'' = n_{T''} / \eta_c = 12 / 0,608 = 19;$$

Общее число тарелок $n = 28$,с запасом $n = 30$, из них в верхней части 10, в нижней 20 тарелок .

$$\text{Высота тарельчатой части колонны: } H_T = \frac{(n-1) \cdot h}{0,3} = \frac{30-1}{0,3} = 8,7 \text{ м}$$

$$\text{Общее гидравлическое сопротивление тарелок:} \quad (37)$$

$$\Delta P = \Delta P' \cdot n_{\text{в}} + \Delta P'' \cdot n_{\text{н}} = 10 \cdot 828,5 + 793,5 \cdot 20 = 24155 \text{ Па} = 0,24 \text{ кгс/см}^2;$$

$$\text{Общая высота колонны : } H = 8,7 + 1,5 + 2 = 12,2 \text{ м}$$

5. Тепловой расчет установки.

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в дефлегматоре-конденсаторе, находим по уравнению:

$$Q_d = G_d \cdot (1+R) \cdot r_d, \quad (55)$$

где r_d - удельная теплота конденсации паров в дефлегматоре, кДж/кг.

$$r_d = X_d \cdot r_b + (1-X_d) \cdot r_t, \quad (56)$$

где r_x и r_t – удельные теплоты конденсации хлороформа и бензола при 61°C [2, с.541].

$$r_b = 238 \text{ кДж/кг};$$

$$r_t = 391 \text{ кДж/кг};$$

$$r_p = 0,85 \cdot 238 + (1 - 0,85) \cdot 391 = 271,28 \text{ кДж/кг};$$

$$Q_d = 1,05 \cdot (1+6,08) \cdot 261 \cdot 10^3 = 1940 \text{ кВт}.$$

Расход теплоты, получаемой в кубе-испарителе от греющего пара, находим по уравнению:

$$Q_k = Q_d + G_d \cdot C_d \cdot t_d + G_w \cdot C_w \cdot t_w - G_F \cdot C_F \cdot t_F + Q_{\text{пот}}, \quad (57)$$

где $Q_{\text{пот}}$ приняты в размере 3% от полезно затрачиваемой теплоты; удельные теплоёмкости взяты соответственно при $t_p = 60^\circ\text{C}$, $t_w = 80^\circ\text{C}$, $t_F = 76^\circ\text{C}$, температура кипения исходной смеси t_F определена по t-x-y по диаграмме.

$$C = X \cdot C_b + (1 - X) C_t \quad (58)$$

$$C_w = 0,46 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)};$$

$$C_F = 0,39 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)};$$

$$C_d = 0,27 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

$$C_{\bar{o}}, C_x - [2, \text{с.562}]$$

$$Q_k = (1940 \cdot 10^3 + 1,05 \cdot 4190 \cdot 66 \cdot 0,27 + 1,19 \cdot 80 \cdot 4190 \cdot 0,46 - 2,54 \cdot 4190 \cdot 76 \cdot 0,39) \cdot 1,03 = 1\,943\,034 \text{ Вт.}$$

Расход теплоты в паровом подогревателе исходной смеси:

$$Q_F = 1,05 \cdot G_F \cdot C_F \cdot (t_F - t_{\text{нач}}), \quad (59)$$

где тепловые потери приняты в размере 5%, удельная теплоёмкость исходной смеси $C_F = 0,304 \cdot 0,24 + 0,696 \cdot 0,44 = 0,38 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

при $t = (76 + 18)/2 = 47^\circ\text{C}$.

$$Q_F = 1,05 \cdot 2,5 \cdot 4190 \cdot 0,38 \cdot (76 - 18) = 117026 \text{ Вт.}$$

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в водяном холодильнике дистиллята

$$Q_d = G_d \cdot C_d \cdot (t_p - t_{\text{кон}}) = 1,05 \cdot 0,27 \cdot 4190 \cdot (66 - 25) = 48702 \text{ Вт} \quad (60)$$

При $t = (66 + 25)/2 = 45,5^\circ\text{C}$; $C_d = 0,855 \cdot 0,24 + 0,145 \cdot 0,44 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

Расход теплоты в водяном холодильнике кубового остатка

$$Q_w = G_w \cdot C_w \cdot (t_w - t_{\text{кон}}) = 1,19 \cdot 0,443 \cdot 4190 \cdot (80 - 25) = 121486 \text{ Вт} \quad (61)$$

При $t = (80 + 25)/2 = 52,5^\circ\text{C}$. $C_w = 0,033 \cdot 0,24 + 0,967 \cdot 0,45 = 0,443 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

Расход греющего пара при $P_{\text{абс.}} = 4 \text{ кгс}/\text{см}^2$ и $a = 5\%$.

В кубе испарителя:

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{Q_d}{r_p \cdot x} = \frac{48702}{2141 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 0,94 \text{ кг}/\text{с} \quad (62)$$

В подогревателе исходной смеси:

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{Q}{r_p \cdot x} = \frac{117026}{2141 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 0,05 \text{ кг}/\text{с}$$

Всего: $0,94 + 0,05 = 0,99 \text{ кг}/\text{с}$

Расход охлаждающей воды при нагреве её на 20°C в дефлегматоре:

$$V_B = Q_d / (C_B \cdot (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}) \cdot \rho_B), \quad (63)$$

где $C_B = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ - удельная теплота конденсации воды; ρ_B - плотность воды.

В дефлегматоре :

$$V_B = 194000 / (4190 \cdot 20 \cdot 1000) = 0,023 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В водяном холодильнике дистиллята:

$$V_B = 48702 / (4190 \cdot 20 \cdot 1000) = 0,0005 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В водяном холодильнике кубового остатка:

$$V_B = 121486 / (4190 \cdot 20 \cdot 1000) = 0,0014 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Всего: $0,023 + 0,0005 + 0,0014 = 0,0249 \text{ м}^3/\text{с}$.

6. Конструктивно-механический расчет установки

6.1 Расчет толщины обечайки, днища и крышки

Ведем расчет по [17]:

Исходные данные:

$P := 0.1$ МПа -рабочее давление

$t := 80^{\circ}\text{C}$ -температура среды

$\Pi := 0.04 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$ -скорость коррозии

$Y := 15$ лет -срок эксплуатации

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

Материал
08X18H10T

Вид сварного шва и способ сварки:

Стыковой, выполняемый вручную с одной стороны. Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100 %*.

$\phi_p := 0.9$ -коэффициент прочности продольных сварных швов

$g := 9.800665 \text{ м/с}^2$ -скорость свободного падения

$D := 1800$ мм -внутренний диаметр

$l := 8700$ мм -высота обечайки

$H := 12200$ мм -высота цилиндрической части

согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 определяем коэффициенты запаса прочности и устойчивости

$\eta := 1$ -коэффициент запаса прочности

$n_T := 1.1$ -Коэффициент прочности при гидравлическом испытании

$R_{02} := 234$ МПа -Предел текучести материала

так как $t_0=10$, то берем $\sigma=168$ при $t_0=20^0\text{C}$ согласно примечанию в ГОСТ52857.1-2007

$\sigma := 156$ МПа

выбираем коэффициент прочности сварного шва для стыкового, выполняемого в ручную с одной стороны

$\phi := 0.9$

$x := (20 \ 100)^T$ $y := (168 \ 156)^T$

$\sigma_t := \text{Floor}(\text{interp}(x, y, t), 0.5) = 159$ МПа

Допускаемое напряжение принимаем при $T=100^0\text{C}$

$\sigma_{20} := 156$ МПа -Допускаемое напряжение материала при нормальных условиях

$\rho := 1113 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ -Плотность среды

Расчетное значение внутреннего избыточного давления:

$$P_p := P + \frac{\rho \cdot g \cdot H}{10^9} = 0.233 \text{ МПа}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании внутри аппарата:

$$\sigma_{\text{и}} := \text{Floor}\left(\frac{R_{02}}{n_T}, 1\right) = 212 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{20} := \text{Floor}(\eta \cdot \sigma_{20}, 1) = 156 \text{ МПа}$$

Давление для испытания на прочность:

$$P_{\text{пр}} := 1.5 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} = 0.286 \text{ МПа}$$

Расчет толщины стенки при гидравлическом испытании и при рабочем давлении.

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки:

$$s_p := \max \left[\frac{P_p \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_t - P_p)}, \frac{P_{пр} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{и} - P_{пр})} \right] = 1.467 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки:

$$\begin{aligned} c1 &:= Y \cdot \Pi = 0.6 \text{ мм} && \text{— сумма прибавок к расчетным} \\ c2 &:= 0 && \text{толщинам стенок, мм;} \\ c &:= \text{Ceil}(c1 + c2, 1) = 1 \text{ мм} && c1 \text{ — прибавка для компенсации} \\ &&& \text{коррозии и эрозии, мм;} \\ S_{ЦО} &:= \text{ceil}(s_p + c) = 3 \text{ мм} && c2 \text{ — прибавка для компенсации} \\ s_p + c &= 2.467 \text{ мм} && \text{минусового допуска, мм;} \\ S_{ЦО} &= 3 \text{ мм} \end{aligned}$$

Принимаем толщину стенки цилиндрической обечайки:

$$S_{ЦО} = 10 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенки стандартной эллиптической крышки и днища:

$$\begin{aligned} S_p &:= \max \left[\frac{P_p \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_t - 0.5P_p)}, \frac{P_{пр} \cdot D}{(2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{и} - 0.5P_{пр})} \right] = 1.467 \text{ мм} \\ c1 &:= Y \cdot \Pi = 0.6 \text{ мм} \\ c2 &:= 0 \\ \text{Ceil}(c1 + c2, 1) &= 1 \text{ мм} \\ \text{ceil}(S_p + c) &= 3 \text{ мм} \end{aligned}$$

Принимаем толщину стенки стандартной эллиптической крышки и днища

$$S_{КиД} = 10 \text{ мм}$$

6.2 Подбор днища и крышки

Наиболее рациональной формой для цилиндрических аппаратов является эллиптическая. Эллиптические днища и крышки изготавливаются из листового проката штамповкой и могут использоваться в аппаратах с избыточным давлением до 10 МПа.

Подбираем стандартные стальные отбортованные днище и крышку по (ГОСТ 6533-68) .Выберем стандартные отбортованные эллиптические днище и крышку, параметры которых примем при D=1800 мм:

Таблица 6

Внутренние базовые размеры для днища эллиптического отбортованного
стального по ГОСТу 6533-78

D _в ,мм	h _в ,мм	F _в ,внутренняя поверхность днища,м ²	V*10 ³ ,емкость днища, м ³	H,мм	m,кг
1800	450	3,74	865	40	297

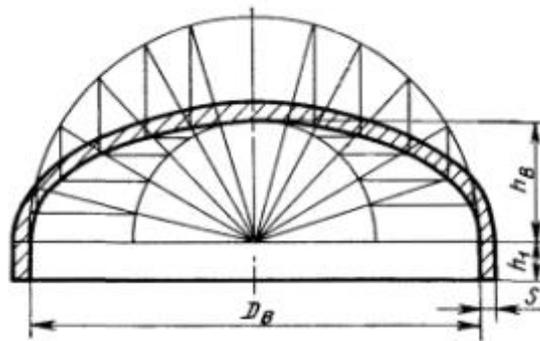


Рисунок 9. Днище эллиптическое отбортованное

6.3 Расчёт штуцеров

Подсоединение трубопроводов к сосудам и аппаратам осуществляется с помощью вводных труб или штуцеров. Исходя из условий ректификации, примем для аппарата штуцера с приварным плоским фланцем и тонкостенным патрубком.

Расчёт штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{G}{\rho w 0,785}} \quad (68)$$

где w - скорость, для жидкости принимаем 1 м/с, для пара – 10 м/с.

Штуцер для ввода исходной смеси.

$$d_1 = \sqrt{4 * 2,54 / (1024 * 1,314)} = 0,056 м \quad \text{где } \rho = 0,304 * 1411 + 0,696 * 855 = 1024 \text{ кг/м}^3$$

По ГОСТ п2820-80 примем штуцер с D_y= 80 мм и соответствующий фланец. [3,с.549]:

Штуцер для ввода флегмы

$$d_5 = \sqrt{4 * 1,05 * 6.084 / (3,14 * 1330 * 1)} = 0,078 м \quad \text{где } \rho = 0,855 * 1411 + 0,145 * 855 = 1330 \text{ кг/м}^3$$

По ГОСТ 12820-80 принимаем штуцер с $D_y = 80$ мм и соответствующий фланец . [3,с.549]:

Штуцер для вывода паров дистиллята

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

По ГОСТ 12820-80 примем штуцер с $D_y = 300$ мм и соответствующий к нему фланец. [3,с.549]:

Штуцер для ввода пара кубового остатка

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

По ГОСТ 12820-80 принимаем штуцер с $D_y = 300$ мм и соответствующие фланцы. [3,с.549]:

Штуцер для вывода кубовой остатка

$$d4 = \sqrt{4 * 1,49 / (873 * 1 * 3,14)} = 0,002 м \text{ где } \rho = 0,033 * 1411 + 0,967 * 855 = 873 \text{ кг/м}^3 .$$

По ГОСТ 12820-80 примем штуцер с $D_y = 100$ мм и соответствующий фланец . [3,с.549]:

Принимаем стандартные размеры болтов и фланцев рекомендуемые по ГОСТ 12820-80;

Таблица фланцев

Dу, мм	Dф	z	m,кг
65	185	8	1,84
300	325	12	10,3
300	325	12	10,3
80	185	8	1,84
80	185	8	1,84
500	800	16	16

6.4 Расчет необходимости укрепления отверстий

Ведем расчет по [18]:

Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки: $D := 1800 \text{ мм}$

Марка стали $08X18H10T$

Внутреннее расчетное давление $P_r := 0.233 \text{ МПа}$

Расчётная температура: $t_R := 80 \text{ } ^\circ\text{C}$

Исполнительная толщина
стенки оболочки $s := 10 \text{ мм}$

Расстояние от центра
укрепления отверстия до оси: $x := 0 \text{ мм}$

Диаметр отверстия $d1 := 500 \text{ мм}$

Толщина стенки
(внутренней) штуцера: $s_1 := 10 \text{ мм}$

Толщина стенки
(внешней) штуцера: $s_3 := 10 \text{ мм}$

Длина внешней
части штуцера $l_1 := d1 \cdot 0.65 = 325 \text{ мм}$

Длина внутренней
части штуцера $l_3 := 10 \text{ мм}$

Ширина накладного
кольца $l_2 := 0.5d1$

Толщина накладного
кольца $s_2 := s$

Прибавка расчетной
толщины стенки $c := 1 \text{ мм}$

Коэффициент прочности
сварных швов: $\phi := 0.9$

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре, МПа

$$\sigma_d := 156$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре

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

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре

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

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре

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

Расчёт укрепления отверстия в оболочке:

Выбор типа оболочки

$$n := \begin{array}{l} \text{цилиндрическая} \\ \text{эллиптическая} \end{array} \quad n = 1$$

$$\text{Тип} := \begin{cases} \text{"цилиндрическая оболочка"} & \text{if } n = 1 \\ \text{"эллиптическая оболочка"} & \text{if } n = 2 \end{cases}$$

Расчётный диаметр оболочки:

$$D_p := D$$

$$\text{Тип} = \text{"цилиндрическая оболочка"}$$

Расчётный диаметр 1-го отверстия в стенке обечайки:

$$d1_p := \begin{cases} d1_p \leftarrow d1 + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d1_p \leftarrow \frac{(d1 + 2 \cdot c)}{\sqrt{1 - \left(2 \cdot \frac{x}{D_p}\right)^2}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$d1_p = 502 \text{ мм}$

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

Для первого отверстия

$$Us1 := \begin{cases} \text{if } n = 1 \\ \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{if } n = 2 \\ \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.6 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases}$$

Tip = "цилиндрическая оболочка"

Us1 = "условия применения формул выполняются"

Расчётная толщина стенки оболочки:

$$s_p := \begin{cases} s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} & \text{if } n = 1 \\ s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$s_p = 1.495 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:
для 1-го отверстия

33

$$s1'_p := \frac{P_r \cdot (d1 + 2 \cdot c)}{D} = 0.41 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:
для 1-го отверстия

$$s_{1p}' := \frac{P_r \cdot (d_1 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma \cdot d_1 \cdot \phi - P_r} = 0.417 \quad \text{мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[l_1, \sqrt{(d_1 + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} \right] \quad l_{1p} = 67.216 \quad \text{мм}$$

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

Расчётная ширина накладного кольца:

$$l_{21p} := \min \left[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right] \quad l_{21p} = 184.932 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца:

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

Отношения допускаемых напряжений:
для внешней части штуцера

$$\chi_1 := \min \left(1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d} \right) \chi_1 = 1$$

для накладного кольца

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

для внутренней части штуцера:

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

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления

$$d1_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 50.912 \quad \text{мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда;

$$d1_o := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 1.329 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия

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

Tip = "цилиндрическая оболочка"

Prov = "Укрепление не требуется"

Проверка условия укрепления одиночного отверстия

$$A_{11} := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c) \cdot \chi_1 = 576.923 \text{ мм}$$

$$A_{21} := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 1.849 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$A_{31} := l_{3p} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 80 \text{ мм}$$

$$A_{1p.c} := l_{1p} \cdot (s - s_p - c) = 955.252 \text{ мм}$$

$$A_{1p} := 0.5 \cdot (d1_p - d1_{op}) \cdot s_p = 337.15 \text{ мм}$$

$$\text{Summa1} := A_{11} \cdot \chi_1 + A_{21} \cdot \chi_2 + A_{31} \cdot \chi_3 + A_{1p.c} = 3.461 \times 10^3$$

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } \text{Summa1} \geq A_{1p} \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tip = "цилиндрическая оболочка"

Prov' = "условие укрепления выполняется"

Из расчетов можно сделать вывод что отверстия диаметром меньше 50,912 мм в укреплении не нуждаются.

Из расчетов можно сделать вывод что отверстия диаметром меньше 1.329×10^3 мм при наличии избыточной толщины стенки в укреплении не нуждаются

6.5. Расчет фланцев

Расчитываем по [19]:

Исходные данные:

Внутренний диаметр фланца : $D := 500$ мм

Наружный диаметр фланца: $D_1 := 800$ мм

Диаметр окружности расположения болтов: $D_a := 700$ мм

Расчетный диаметр прокладки: $D_{\text{пр}} := 550$ мм

Ширина прокладки: $b_1 := 16$ мм

Толщина тарелки фланца: $h := 80$ мм

Толщина прокладки: $h_1 := 2$ мм

Толщина втулки приварного встык
фланца в месте приварки к обечайке: $S_0 := 10$ мм

Наружный диаметр болта: $d := 20$ мм

Число болтов: $n := 16$

Расчетное давление: $P := 0.233$ МПа

Внешний изгибающий момент: $M := 0$ Н*мм

Осевая сила: $F := 0$ Н

Прибавка на коррозию: $c_o := 1$ мм

Расчетная температура: $t := 80$ °С

Материал обечаек и фланцев - сталь 08X18H10T

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

Фланцы плоские, неизолированные

Фланцы с гладкой уплотнительной поверхностью рекомендуется применять для условных давлений среды до 1,6 МПа

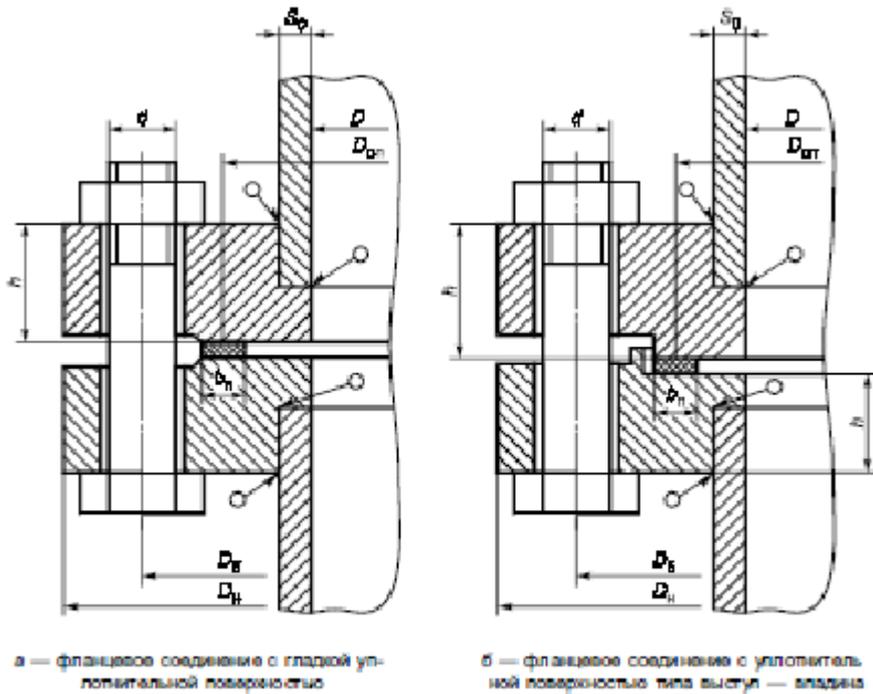


Рисунок 2, лист 1 — Фланцевые соединения с плоскими фланцами

Выбор крепежных элементов:

$bs :=$ Болты
Шпильки $bs = 1$

Определение расчетных параметров:

Расчетные температуры:

расчетная температура неизолированных плоских фланцев $t_{\phi} = 0,96 t$:

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t \qquad t_{\phi} = 76.8$$

расчетная температура болтов:

$$t_{\phi} := 0.85 \cdot t \qquad t_{\phi} = 68$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х

В рабочем состоянии

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 225 \end{pmatrix}$$
$$\sigma_{д.б} := \text{Floor}(\text{lininterp}(t, \sigma, t_б), 0.5)$$
$$\sigma_{д.б} = 231.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре:

$$E_б := 2.14 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для болтов при $t = 20^\circ\text{C}$:

$$\sigma_{20б} := 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания 20°C :

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

Коэффициент линейного расширения стали 35Х при $t = 20-100^\circ\text{C}$:

$$\alpha_б := 13.4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 08Х18Н10Т

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 80 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 168 \\ 156 \end{pmatrix}$$
$$\sigma := \text{Floor}(\text{lininterp}(t, \sigma, t_ф), 0.5) \quad \sigma = 156.5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{д.ф} := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{д.ф} = 156.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 08Х18Н10Т при рабочей температуре :

$$E := 1.96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 08Х18Н10Т при $t = 20^\circ\text{C}$:

$$\sigma_{20} := 156 \text{ МПа} \quad \sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{д20} = 156 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 08Х18Н10Т при температуре испытания 20 °С:

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

Коэффициент линейного расширения стали $1.96 \cdot 10^{-5}$ при $t = 20 - 100^\circ\text{C}$:

$$\alpha_{\text{ф}} := 16.1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Эффективная ширина плоской прокладки:

$$b_{\text{н}} := 12 \text{ мм}$$

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

$$b_0 = 12 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по таблице 4.6

$$m := 2.5$$

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

$$E_{\text{н}} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке,

$$P_{\text{обж}} := 0.5\pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| \quad P_{\text{обж}} = 6.039 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

$$R_{\text{н}} := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{\text{н}} = 1.208 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек) по таблице 4.3 :

$$f_{\text{б}} := 225 \text{ мм}^2$$

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

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

Равнодействующая нагрузка от давления

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

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента,

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

Податливость прокладки:

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} \quad y_{\text{п}} = 4.341 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{\text{б0}} := 62 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_{\text{б}} := \begin{cases} L_{\text{б0}} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases} \quad L_{\text{б}} = 67.6 \text{ мм}$$

Податливость болтов:

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E_{20\text{б}} \cdot A_{\text{б}}} \quad y_{\text{б}} = 8.614 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки :

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 70.711 \quad \text{мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_1}{D} \quad K = 1.6$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.666$$

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

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 4.343$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 2.282$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами и свободными фланцами:

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

- коэффициент λ :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = 9.628$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_\Phi = 3.372 \times 10^{-11}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом,

$$y_{\Phi H} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_\sigma}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\Phi H} = 3.798 \times 10^{-12}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками (болтами),

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

Приведенный диаметр плоского фланца: $D_{\text{пр}} := D$

Плечо действия усилий в болтах (шпильках) для приварных встык и плоских фланцев:

$$b := 0.5(D_{\text{б}} - D_{\text{сп}}) \quad b = 75$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_0) \quad e = 20$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$S_{\text{э}} := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} \cdot \frac{E_{20\text{б}}}{E_{\text{б}}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 1.06 \times 10^6$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык и плоских фланцев с плоскими прокладками:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e \cdot y_{\text{ф}} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}}} \quad \alpha = 0.63$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_{\text{М}} := \frac{y_{\text{б}} + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b^2} \quad \alpha_{\text{М}} = 0.168$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20) - 2\alpha_{\text{б}} \cdot h \cdot (t_{\text{б}} - 20)] \quad Q_t = 4.599 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$P_{\bar{\sigma}1} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \end{array} \right]$$

$$P_{\bar{\sigma}1} = 4.695 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$P_{\bar{\sigma}2} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\bar{\sigma}} \cdot \sigma_{20\bar{\sigma}})$$

$$P_{\text{обж}} = 6.039 \times 10^3 \text{ Н} \quad P_{\bar{\sigma}2} = 3.312 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\bar{\sigma}M} := \max(P_{\bar{\sigma}1}, P_{\bar{\sigma}2}) \quad P_{\bar{\sigma}M} = 3.312 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений в рабочих условиях

$$P_{\bar{\sigma}p} := P_{\bar{\sigma}M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}}$$

$$P_{\bar{\sigma}p} = 3.977 \times 10^5 \text{ Н}$$

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки:

Расчетные напряжения в болтах (шпильках):

- при затяжке:

$$\sigma_{\bar{\sigma}1} := \frac{P_{\bar{\sigma}M}}{A_{\bar{\sigma}}} \quad \sigma_{\bar{\sigma}1} = 92 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{\bar{\sigma}2} := \frac{P_{\bar{\sigma}p}}{A_{\bar{\sigma}}} \quad \sigma_{\bar{\sigma}2} = 110.466 \text{ МПа}$$

Проверка условий прочности болтов (шпилек) при затяжке и в рабочих условиях:

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

$$\sigma_{61} = 92 \text{ МПа} \quad \sigma_{206} = 230 \text{ МПа} \quad \sigma_{62} = 110.466 \text{ МПа} \quad \sigma_{д.6} = 231.5 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{СП} \cdot b_{П}} \quad q = 19.179 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

$$q = 19.179 \text{ МПа} \quad q_d = 130 \text{ МПа}$$

Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланца или плоский фланец при затяжке,

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b \quad M_M = 2.484 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_P := C_F \cdot \max[P_{6P} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e]$$

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

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

- меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского фланца:

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

- напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки:

- радиальное напряжение:

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

- окружное напряжение:

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

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с прямой втулкой и плоских фланцев :

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = 79.327 \quad \text{МПа}$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

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

$$\sigma_{0mp} = 3.839 \quad \text{МПа}$$

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

- радиальное напряжение:

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

- окружное напряжение:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 36.557 \quad \text{МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев:

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\begin{array}{c} \left(\left| \sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp} \right| \right) \\ \left(\left| \sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp} \right| \right) \\ \left(\left| \sigma_{0p} + \sigma_{0mp} \right| \right) \end{array} \right)$$

$$\sigma_{3max} := \max \left(\left| \sigma_{0m} + \sigma_{Rm} \right|, \left| \sigma_{0m} + \sigma_{Tm} \right| \right)$$

PR_1 := "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

PR_3 := "Условия статической прочности НЕ выполняются"

KT = 1.5 при расчете с учетом стесненности температурных деформаций. При расчете без учета стесненности температурных деформаций KT = 1.

$$K_T := 1.5$$

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

Usl_3 = "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

$$\sigma_{3max} = 93.058 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{20} = 234 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Pmax} = 112.045 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 234.75 \text{ МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев:

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\Theta := M_p \cdot y_{ф} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = 1.16 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца $\Theta_d := 0.013$

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

Usl_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

6.6. Расчет тарелок на прогиб

Расчет ведем по [6];

Механический расчет тарелок в зависимости от их конструкции включает:

- расчет диска и опорного каркаса на прочность и жесткость;
- проверку контактных устройств на жесткость;
- расчет на прочность колосников для тарелок под посадку.

Диск тарелки бескаркасного типа можно рассматривать как тонкую круглую пластину, опретую по контуру и нагруженную равномерной нагрузкой от собственного веса и веса жидкости. В этом случае толщину диска определяют по формуле:

$\sigma_{\text{тар}} := 156 \text{ МПа}$ - тарелки изготовлены из стали

$D_{\text{вн}} := 1.72 \text{ м}$ - диаметр тарелки

$c := 1 \text{ мм}$ - Прибавка расчетной толщины стенки

$E := 1.96 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ - Модуль упругости для стали 08Х18Н10Т

$\mu := 0.3$ - коэффициент Пуассона

$f := \pi \frac{0.004^2}{4} = 1.257 \times 10^{-5} \text{ м}^2$ - Площадь отверстия

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

Определим вес самой тарелки:

Площадь тарелки:

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

Суммарная площадь отверстий составляют примерно 8% площади диска тарелки. Примем суммарную площадь всех отверстий :

$$F_1 := 0.08 \cdot F = \text{ м}^2$$

Вес диска тарелки :

$s_{\text{дис}} := 0.003 \text{ м}$ - толщина диска тарелки, принимаемая в первом приближении

$\gamma := 0.0079 \frac{\text{МН}}{\text{м}^3}$ - удельный вес стали

$$G_d := (F - F_1) \cdot s_{\text{диск}} \cdot \gamma = 5.066 \times 10^{-5} \quad \text{МН}$$

Вес тарелки:

$$G_T := G_d = 5.066 \times 10^{-5} \quad \text{МН}$$

Количество отверстий:

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

Зададимся слоем жидкости (воды) на тарелке 40 мм. Тогда вес ее:

$$G_B := 1000 \cdot 0.04 \cdot (F - n \cdot f) \cdot 9.8 \cdot 10^{-6} = 8.38 \times 10^{-4} \quad \text{МН}$$

Таким образом, общая нагрузка, на которую рассчитывают тарелку:

$$G := G_T + G_B = 8.886 \times 10^{-4} \quad \text{МН}$$

$$P_{\text{распр}} := \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2} = 6.578 \times 10^{-4} \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$$

Толщину диска тарелки определяем по формуле:

$$s_{\text{диска}} := 0.56 \cdot D_{\text{вн}} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{распр}}}{\sigma_{\text{тар}}}} + \frac{c}{1000} = 2.978 \times 10^{-3} \quad \text{м}$$

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

Us17 = "Расчет верный"

Примем толщину диска:

$$s_{\text{диска}} := 3 \quad \text{мм}$$

Для нормальной работы тарелки необходимо, чтобы прогиб ее диска не превышал 1/2000 от диаметра. Максимальный прогиб в центре тарелки определяют по формуле:

$$N := \frac{E \cdot (s_{\text{диска}})^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = 4.846 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega := 4.08 \cdot \frac{P_{\text{распр}} \cdot \left(\frac{D_{\text{вн}}}{2}\right)^4}{64 \cdot N} = 4.733 \times 10^{-11} \quad \text{м}$$

Проверка необходимости наличия каркаса тарелки

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

Us18 = "Каркас не нужен"

6.7. Расчет ветровой нагрузки

Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок

Расчет ведем по [20]:

Рассчитать ректификационную колонну постоянного сечения на устойчивость от действия ветровой нагрузки по следующим исходным данным:

Высота колонны: $H_k := 14.08$ м

Район
установки - III: $q_0 := 450$ Н/м²

Высота установки площадки обслуживания - 12 м

Диаметр верхней части колонны: $D_1 := 1.8$ м

Диаметр нижней части колонны: $D_2 := 1.8$ м

Диаметр опоры: $D_3 := 1.8$ м

Изоляция в колонны(совелит):

Высота: $H_{и} := 12.2$ м

Удельный вес: $\gamma_{и} := 4500$ Н/м³

Температура в нижней части
колонны: $T_2 := 80$ °С

Температура в верхней части
колонны: $T_1 := 80$ °С

Число тарелок: $n_T := 30$

Материал колонны - сталь
08X18H10T;

Материал опоры - сталь Ст3

Толщина:

Стенки в верхней части колонны: $S_1 := 0.01$ м

Стенки в нижней части колонны: $S_2 := 0.01$ м

Стенки опоры: $S_o := 0.01$ м

Изоляции: $S_{и} := 0.032$ м

Модуль упругости материала колонны: $E := 1.96 \cdot 10^{11}$ Па

Площадь внутренней поверхности
эллиптического днища: $F_d := 3.74 \quad \text{м}^2$

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

Вес люка: $G_d := 240 \quad \text{кг}$
 $D_y := 0.5 \quad \text{м}$

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

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

Определение ветровой нагрузк

Сначала разбиваем аппарат на участки:

Высота участка № 1: $H_1 := 2.22 \quad \text{м}$

Высота участка № 2: $H_2 := 3.37 \quad \text{м}$

Высота участка № 3: $H_3 := 3.35 \quad \text{м}$

Высота участка № 4: $H_4 := 3.28 \quad \text{м}$

Высота участка № 5: $H_5 := 1.8 \quad \text{м}$

Высоту опоры принимаем равной - 1.8 м.

В середине каждого участка прикладываем ветровую нагрузку на
расстоянии от фундамента:

Участок № 1: $x_1 := 14 \quad \text{м}$

Участок № 2: $x_2 := 10 \quad \text{м}$

Участок № 3: $x_3 := 7 \quad \text{м}$

Участок № 4: $x_4 := 5 \quad \text{м}$

Участок № 5: $x_5 := 3 \quad \text{м}$

Количество тарелок на каждом участке:

Участок № 1: $n_1 := 0$

Участок № 2: $n_2 := 4$

Участок № 3: $n_3 := 7$

Участок № 4: $n_4 := 19$

Участок № 5 $n_5 := 0$

Ширина площадки 1 м

Высота: $h_{пл} := 1$ м

Наружный диаметр площадки : $D_{н.пл} := 3.4$ м

Расчет ведется для трех состояний аппарата, кроме того, в дальнейших расчетах необходимо будет знать вес каждого участка. Чаще всего вес по высоте колонны распределен равномерно (наличие паровых и сепарационных пространств, изоляции на отдельных частях, площадок обслуживания, змеевиков и т. д.), и, чтобы с достаточной точностью просчитать вес каждого участка, можно воспользоваться следующими практическими рекомендациями:

1) вес:

1 м³ стальных площадок - 100 кг;

1 погонного метра ограждения лестниц - 15 кг;

1 погонного метра лестниц - 37 кг;

1 м² ректификационных тарелок, включая жидкость на ней,

$G_{т.1кв.м} := 120$ кг

изоляции, днищ, люков, штуцеров - 18...20 % от веса стального корпуса

2) удельный вес:

Стали: $\gamma_{ст} := 7850$ кг/м³

Воды: $\gamma_{в} := 1000$ кг/м³

1. Расчет для условий гидроиспытаний :

Расчет проводим на условие гидроиспытаний колонны, когда вес ее максимальный и включает в себя вес всего аппарата и вес воды при гидроиспытании. Вес колонны будет складываться из веса каждого участка.

1.1. Определение веса каждого из участков

Первый участок включает в себя обечайку, крышку, площадку обслуживания и воду при гидроиспытании.:

Вес обечайки, Н:

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

Вес крышки, Н:

$$G_{K1} := 10 \cdot F_D \cdot S_1 \cdot \gamma_{CT} \quad G_{K1} = 2935.9$$

Вес тарелок, Н:

$$G_{T1} := 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot G_{T.1KB.M} \cdot n_1 \quad G_{T1} = 0$$

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 включает в себя обечайку, 4 тарелок и воду при гидроиспытании.:

Вес обечайки, Н:

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

Вес тарелок, Н:

$$G_{T2} := 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot G_{T.1KB.M} \cdot n_2 \quad G_{T2} = 12214.5122$$

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 включает в себя обечайку, крышку, 7 тарелок и воду при гидроиспытании.

Вес обечайки, Н:

$$G_{O3} := 10 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot S_2 \cdot H_3 \cdot \gamma_{CT} \quad G_{O3} = 14870.8859$$

Вес тарелок, Н:

$$G_{T3} := 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot G_{T.1KB.M} \cdot n_3 \quad G_{T3} = 21375.3964$$

Вес воды, Н:

$$G_{T3} := 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot G_{T.1\text{КВ.М}} \cdot n_3 \quad G_{T3} = 21375.3964$$

Вес воды, Н:

$$G_{B3} := 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot H_3 \cdot \gamma_B \quad G_{B3} = 85247.1167$$

Тогда вес третьего участка, Н:

$$G_{T3} := G_{O3} + G_{T3} + G_{B3} + G_{Пл1} \quad G_{T3} = 128027.9117$$

Четвертый участок включает в себя обечайку, крышку, 19 тарелок, изоляции и воду при гидроиспытании.:

Вес обечайки, Н:

$$G_{O4} := 10 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot S_2 \cdot H_4 \cdot \gamma_{ст} \quad G_{O4} = 14560.151$$

Вес тарелок, Н:

$$G_{T4} := 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot G_{T.1\text{КВ.М}} \cdot n_4 \quad G_{T4} = 58018.9331$$

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:

$$G_{B4} := 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot H_4 \cdot \gamma_B \quad G_{B4} = 83465.8336$$

Тогда вес четвертого участка, Н:

$$G_{T4} := G_{O4} + G_{T4} + G_{И4} + G_{B4} + G_{Пл1} \quad G_{T4} = 165250.3371$$

Пятый участок включает в себя только опорную обечайку. Определим вес:

Вес опорной обечайки, Н:

$$G_{O6} := 10 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot S_O \cdot H_5 \cdot \gamma_{ст} \quad G_{O6} = 7990.3268$$

Тогда вес шестого участка, Н:

$$G_{T5} := G_{O6}$$

Таким образом, общий вес аппарата при гидроиспытании, Н:

$$G_{Г.маx} := G_{Г1} + G_{Г2} + G_{Г3} + G_{Г4} + G_{Г5} = 496550.5907 \quad G_{Г.маx} = 496550.5907$$

Прибавка к толщине, м

$$c := 0.001$$

Момент инерции верхней части колонны, м⁴

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

Момент инерции нижней части колонны, м⁴:

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

Момент инерции опорной обечайки колонны, м⁴:

$$I_3 := \pi \cdot \frac{(D_3 + S_0 - c)^3 \cdot (S_0 - c)}{8} = 0.0209 \quad I_3 = 0.0209$$

1.2 Определение статической составляющей

Коэффициент определим с помощью модуля расчета. Здесь:

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

Высота расчетного сечения аппарата до поверхности земли

$$x_0 := \begin{pmatrix} 14 \\ 10 \\ 5 \\ 3 \\ 0.75 \end{pmatrix}$$

Площадь обслуживающих площадок на участках - n, м² j := 0.. 4

$$A := \begin{pmatrix} 7.536 \\ 7.536 \\ 7.536 \\ 7.536 \\ 7.536 \end{pmatrix} \quad A_{j,0} := A_j \quad A_j = \begin{pmatrix} 7.536 \\ 7.536 \\ 7.536 \\ 7.536 \end{pmatrix}$$

56

Высота обслуживающих площадок от поверхности земли, м. :

$$\begin{pmatrix} 14 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 14 \end{pmatrix}$$

Высота обслуживающих площадок от поверхности земли, м. :

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

Тогда:

$$\Theta_i := \begin{cases} \left(\frac{x_i}{10}\right)^{0.32} & \text{if } x_i > 10 \\ 1 & \text{if } x_i \leq 10 \end{cases} \quad \Theta_{j,j,0} := \Theta_j \quad \Theta_j = \begin{pmatrix} 1.1137 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Для круглых аппаратов: $K_{\text{www}} := 0.7$

Статическая составляющая не зависит от веса аппарата, а зависит от высоты над поверхностью земли.

Нормативное значение статической составляющей, Н/м²:

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

$$q_i =$$

350.8096
315
315
315
315

Наружный диаметр по участкам составит, м:

$$D_{H1} := D_1 + 2 \cdot S_1 + 2 \cdot S_{и} \quad D_{H1} = 1.884$$

$$D_{H2} := D_1 + 2 \cdot S_1 + 2 \cdot S_{и} \quad D_{H2} = 1.884$$

$$D_{H3} := D_2 + 2 \cdot S_2 + 2 \cdot S_{и} \quad D_{H3} = 1.884$$

$$D_{H4} := D_2 + 2 \cdot S_2 + 2 \cdot S_{и} \quad D_{H4} = 1.884$$

$$D_{H5} := D_2 + 2 \cdot S_2 + 2 \cdot S_{и} \quad D_{H5} = 1.884$$

Представим:

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

Тогда статическая составляющая ветровой нагрузки на каждом участке будет равна, Н:

$$P_{st.1} := q_i \cdot D_{H1} \cdot H_1 \quad P_{st.1} =$$

1467.2543
1999.9602
1988.091
1946.5488
1068.228

1.3. Определение динамической составляющей ветровой нагрузки

Определим коэффициенты:

Высоты переменных сечений, м:

$$h_1 := 0$$

$$h_2 := 0$$

$$h_3 := 0$$

1) Безразмерный коэффициент ?

$$\Delta := \frac{1}{3} + \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{h_2}{h_1} \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2 + \frac{h_2}{h_1} + 1 \right] \quad \Delta = 0.3333$$

2) Безразмерный коэффициент ?:

$$\mu := \frac{I_1}{I_3} \cdot \frac{h_3}{h_1} \cdot \left(\frac{h_3}{h_2} + 1 \right) \quad \mu = 0$$

3) Безразмерный коэффициент ?:

$$\lambda := \frac{I_1}{I_3} \cdot \frac{h_3}{h_1} \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h_3}{h_1} \right)^2 + \frac{h_3}{h_1} + 1 \right]$$

4) Безразмерный коэффициент ?

$$\gamma := 2 \cdot \Delta \cdot \left(\frac{h_1}{H_k} \right)^3 \quad \gamma = 0$$

5) с помощью модуля определения коэффициентов β b_k

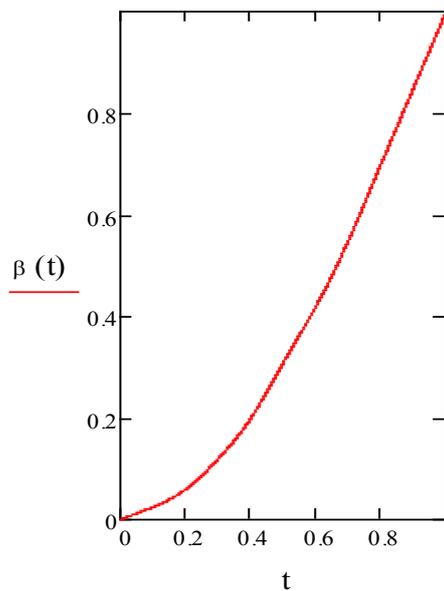
$$r := \frac{x}{H_k} \quad r = \begin{pmatrix} 0.9943 \\ 0.7102 \\ 0.4972 \\ 0.3551 \\ 0.2131 \end{pmatrix}$$

$$xx := (0 \ 0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.7 \ 0.8 \ 0.9 \ 1)^T$$

$$y := (0 \ 0.025 \ 0.06 \ 0.12 \ 0.2 \ 0.31 \ 0.42 \ 0.55 \ 0.7 \ 0.85 \ 1)^T$$

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

$$\beta(t) := \text{interp}(wu, xx, y, t)$$



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

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

Относительное перемещение центров тяжести участков, $1/(H^*M)$:

$$\alpha := \gamma \cdot \frac{H_k}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \beta \quad \alpha = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Так как обычно не имеется данных о размерах фундамента (бетонной подушке) для аппарата, то период собственных колебаний для аппарата переменного сечения можно подсчитать:

$$T_0 := 1.8 \cdot H_k \cdot \sqrt{\frac{G_{r.max} \cdot H_k}{g \cdot E \cdot I_1}} = 0.3341$$

$$T_r := T_0$$

Определение коэффициентов для расчета динамической составляющей:

$$1) \quad \varepsilon_{\text{ww}} := \frac{T_r \cdot \sqrt{q_0}}{840} \quad \varepsilon = 0.0084$$

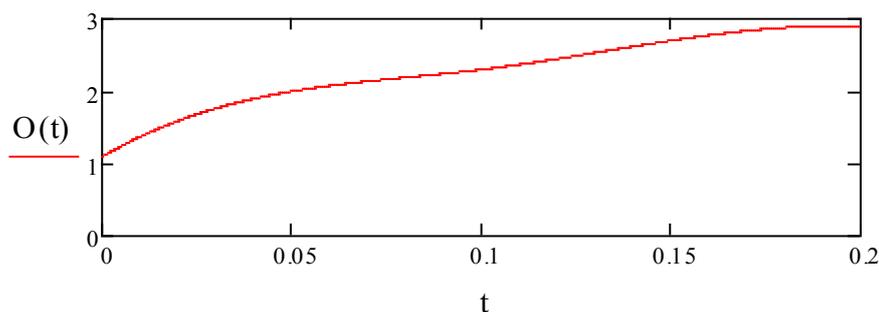
2) с помощью модуля определения коэффициента динамичности при ветровой нагрузке x :

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

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

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

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



$$O(\varepsilon) = 1.3346$$

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

$$\xi = 1.3346$$

3) по таблице 3:

$$v := 0.7$$

4) коэффициент пульсации скоростного напора для середины участка определяем с помощью модуля определения коэффициента пульсации скоростного напора $m_{k,j}$ для середины k-того участка на высоте x_k и j-той площадки на высоте x_j :

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

$$m_i =$$

0.5686
0.6
0.6
0.6
0.6

Приведенное относительное ускорение центра тяжести i-го участка:

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

$$\eta_{\Gamma_i} =$$

0
0
0
0
0

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

$$P_{\Gamma, \text{dyn}_i} := v \cdot G_{\Gamma_i} \cdot \xi \cdot \eta_{\Gamma_i}$$

$$P_{\Gamma, \text{dyn}_i} =$$

0
0
0
0
0

1.4. Ветровая нагрузка в условиях гидроиспытаний

Ветровая нагрузка на i -м участке, Н:

$$P_{\Gamma_i} := P_{st_i} + P_{\Gamma.dyn_i}$$

$$P_{\Gamma_i} =$$

1467.2543
1999.9602
1988.091
1946.5488
1068.228

1.5. Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте от действия ветровой нагрузки, Н*м:

1.5.1. Коэффициент пульсации скоростного напора для середины участка определяем с помощью модуля определения коэффициента пульсации скоростного напора j -й площадки на высоте x_j :

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

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

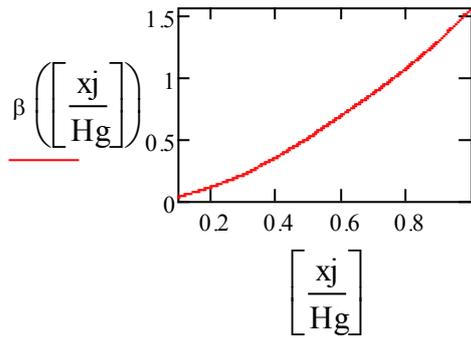
1.5.2. Коэффициент x_j в зависимости от $\left[\frac{x_j}{H} \right]$ определяют по расчетному модулю:

$$xx := (0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.7 \ 0.8 \ 0.9 \ 1)^T$$

$$xjgr := (0.04 \ 0.12 \ 0.22 \ 0.36 \ 0.52 \ 0.7 \ 0.88 \ 1.08 \ 1.3 \ 1.56)^T$$

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

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



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

1.5.3. Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте χ от действия ветровой нагрузки на обслуживающую площадку i , Н*м:

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

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

1.6. Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте x_0 , Н*м:

$$n := 0..4$$

$$M_{v1_n} := \sum_{i=0}^n \left[P_{r_i} \cdot (x_i - x_{0_i}) \right] + \sum_{j=0}^4 M_{vj_j} \quad M_{v1_i} =$$

0
0
3976.182
7869.2796
10272.7926

$$M_{\max} := M_{v1_1} + M_{v1_2} + M_{v1_3} + M_{v1_4} = 22118.2542$$

2. Расчет для рабочих условий

2.1. Определение веса участков;

Первый участок включает в себя обечайку, крышку $n_1 = 0$ тарелок, площадку обслуживания.:

$$G_{p1} := G_{o1} + G_{к1} + G_{т1} + G_{пл1} \quad G_{p1} = 19325.1491$$

Второй участок включает в себя обечайку, крышку $n_2 = 4$ тарелок.:

$$G_{p2} := G_{o2} + G_{т2} \quad G_{p2} = 27174.1796$$

Третий участок включает в себя обечайку, крышку $n_3 = 7$ тарелок.:

$$G_{p3} := G_{o3} + G_{т3} \quad G_{p3} = 36246.2823$$

Четвертый участок включает в себя обечайку, крышку $n_4 = 19$ тарелок, изоляции.:

$$G_{p4} := G_{o4} + G_{т4} + G_{и4} \quad G_{p4} = 75249.9908$$

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:

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

2.2. Определение статической составляющей

Здесь:

$$G_p := \begin{pmatrix} G_{p1} \\ G_{p2} \\ G_{p3} \\ G_{p4} \\ G_{p5} \end{pmatrix} G_{p_{i,0}} := G_p \quad P_{st_i} =$$

1467.2543
1999.9602
1988.091
1946.5488
1068.228

2.3. Определение динамической составляющей ветровой нагрузки

Для определения данных коэффициентов необходимо вычислить период собственных колебаний аппарата. Так как обычно не имеется данных о размерах фундамента (бетонной подушке) для аппарата, то период собственных колебаний для аппарата переменного сечения можно подсчитать:

$$T_0 := 1.8 \cdot H_k \cdot \sqrt{\frac{G_{r.max}}{g} \cdot \frac{H_k}{E \cdot I_1}} = 0.3341$$

$$T_p := T_0$$

Определение коэффициентов для расчета динамической составляющей:

$$1) \quad \varepsilon := \frac{T_p \cdot \sqrt{q_0}}{840} \quad \varepsilon = 0.0084$$

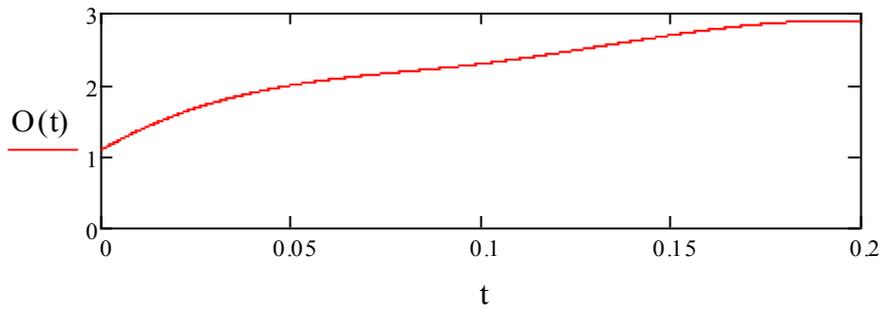
2) с помощью модуля определения коэффициента динамичности при ветровой нагрузке x :

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

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

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

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



$$O(\varepsilon) = 1.3346$$

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

$$\xi = 1.3346$$

3) по таблице 3:

$$v := 0.7$$

Приведенное относительное ускорение центра тяжести i -го участка:

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

$$\eta_{p_i} =$$

0
0
0
0
0

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

$$P_{p.dyn_i} := v \cdot G_{p_i} \cdot \xi \cdot \eta_{p_i}$$

$$P_{p.dyn_i} =$$

0
0
0
0
0

2.4. Ветровая нагрузка в рабочих условиях

Ветровая нагрузка на i -м участке, Н:

$$P_{p_i} := P_{st_i} + P_{p.dyn_i}$$

$$P_{p_i} =$$

1467.2543
1999.9602
1988.091
1946.5488
1068.228

2.5. Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте x_0 от действия ветровой нагрузки, H^*m :

$$M_{V2_n} := \sum_{i=0}^n \left[P_{p_i} \cdot (x_i - x_{0_i}) \right] + \sum_{j=0}^{\text{last}(x)} M_{Vj}$$

$$M_{V2_n} =$$

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

3. Расчет для условий монтажа

3.1 Определение веса участка:

Первый участок включает в себя обечайку, крышку, площадку обслуживания.:

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

Второй участок включает в себя обечайку, крышку $n_2 = 4$ тарелок.:

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

Третий участок включает в себя обечайку, крышку $n_3 = 7$ тарелок.:

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

Четвертый участок включает в себя обечайку, крышку $n_4 = 19$ тарелок.:

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

Пятый участок включает в себя только опорную обечайку.:

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

Таким образом, вес аппарата для условий монтажа, H :

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

3.2. Определение статической составляющей

Здесь:

$$G_M := \begin{pmatrix} G_{M1} \\ G_{M2} \\ G_{M3} \\ G_{M4} \\ G_{M5} \end{pmatrix} \quad P_{st.1} = \begin{array}{|c|} \hline 1467.2543 \\ \hline 1999.9602 \\ \hline 1988.091 \\ \hline 1946.5488 \\ \hline 1068.228 \\ \hline \end{array}$$

3.3 Определение динамической составляющей ветровой нагрузки

Для определения данных коэффициентов необходимо вычислить период собственных колебаний аппарата. Так как обычно не имеется данных о размерах фундамента (бетонной подушке) для аппарата, то период собственных колебаний для аппарата переменного сечения можно подсчитать:

$$T_0 := 1.8 \cdot H_k \cdot \sqrt{\frac{G_{r.max} \cdot H_k}{g \cdot E \cdot I_1}} = 0.3341$$

$$T_M := T_0$$

Определение коэффициентов для расчета динамической составляющей:

$$1) \quad \varepsilon := \frac{T_M \cdot \sqrt{q_0}}{840} \quad \varepsilon = 0.0084$$

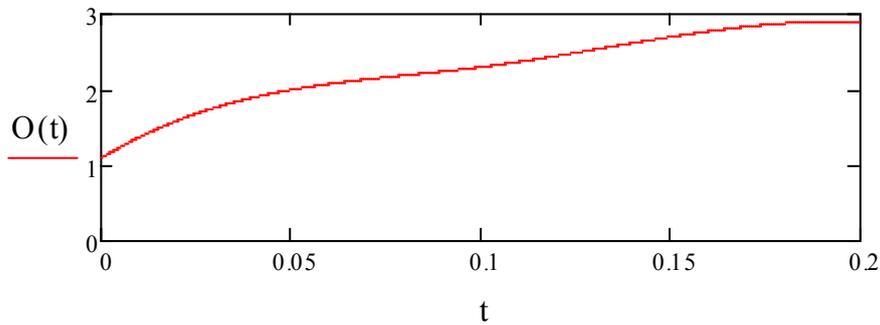
2) с помощью модуля определения коэффициента динамичности при ветровой нагрузке \underline{x} :

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

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

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

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



$$O(\varepsilon) = 1.3346$$

$$\xi_{\text{vw}} := O(\varepsilon)$$

$$\xi = 1.3346$$

3) по таблице 3:

$$v_{\text{vw}} := 0.7$$

Приведенное относительное ускорение центра тяжести i -го участка:

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

$$\eta_{M_i} =$$

0
0
0
0
0

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

$$P_{M.\text{dyn}_i} := v \cdot G_{M_i} \cdot \xi \cdot \eta_{M_i}$$

$$P_{M.\text{dyn}_i} =$$

0
0
0
0
0

3.4. Ветровая нагрузка в рабочих условиях

Ветровая нагрузка на i -м участке, Н:

$$P_{M_i} := P_{st_i} + P_{M.\text{dyn}_i}$$

$$P_{M_i} =$$

1467.2543
1999.9602
1988.091
1946.5488
1068.228

3.5. Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте x_0 от действия ветровой нагрузки, H^*m :

$$M_{v3_n} := \sum_{i=0}^n \left[P_{M_i} \cdot (x_i - x_{0_i}) \right] + \sum_{j=0}^{\text{last}(x)} M_{vj_j} \quad M_{v3_n} =$$

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

4. Модуль связи:

$$MFS_{i,0} := x_{0_i} \quad MFS_{i,1} := M_{v1_i} \quad MFS_{i,2} := M_{v2_i} \quad MFS_{i,3} := M_{v3_i}$$

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

$$MFS = \begin{pmatrix} 14 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 496550.5907 \\ 5 & 3976.182 & 3976.182 & 3976.182 & 165985.9285 \\ 3 & 7869.2796 & 7869.2796 & 7869.2796 & 163315.0218 \\ 0.75 & 10272.7926 & 10272.7926 & 10272.7926 & 0 \end{pmatrix}$$

6.8. Расчет опоры аппарата

Установка химических аппаратов на фундаменты или специальные несущие конструкции осуществляется большей частью с помощью опор.

Для установки данного вертикального аппарата используем цилиндрическую опору

Рассчитываем вес всего аппарата в рабочем состоянии.

1. Масса корпуса

$$M_K = H * \pi * D * s * \rho_{ст} = 12,2 * 3,14 * 1,8 * 0,012 * 7850 = 30880 \text{ кг, где } \rho_{ст} = 7850 \text{ кг/м}^3 [4, \text{с.347}]:$$

2. Масса крышки и днища :

$$M_{кр \text{ и } дн} = 2 * D * s * \rho_{ст} = 1,8^2 * 0,012 * 7850 = 407 \text{ кг; Масса тарелок :}$$

$$M_T = N * m_T = 30 * 89 = 2670 \text{ кг, где } m_T = 89 \text{ – масса одной тарелки.}$$

3. Масса воды при испытании

$$M_B = \pi * \frac{d^2}{4} * H * \rho_B = 3,14 * \frac{1,8^2}{4} * 12,2 * 1000 = 31,029 \text{ кг, где } \rho_B = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

4. Масса штуцеров, кг:

$$M_{80} = 3,18; M_{300} = 20,9; M_{100} = 5,2$$

5. Общая масса

Принимаем что масса вспомогательных устройств 10% от общей:

$$M_{\text{масса аппарата}} = 1,1 * (M_K + M_T + M_{кр \text{ и } дн} + M_B + 2 * M_{80} + 2 * M_{300} + M_{100}) = 1,1 * (30880 + 407 + 2670 + 31029 + 2 * 3,18 + 2 * 20,9 + 5,2) = 71508 \text{ кг}$$

Вес всего аппарата:

$$G = m * g = 71508 * 9,8 * 10^{-6} = 0,7 \text{ МН}$$

Выбираем опору для вертикальных цилиндрических аппаратов тип 1 с $G * 10^2 = 10 \text{ МН}$.

Расчет опорной обечайки

Расчитываем по [6];

$$D_H := 1.820 \text{ - наружный диаметр аппарата, м}$$

$$s := 0.01 \text{ - толщина стенки, м}$$

$$Q_{\max} := 0.7 \text{ - максимальный вес аппарата, МН}$$

$$Q_{\min} := 0.366 \text{ - минимальный вес аппарата, МН}$$

$$M := 0.022 \text{ - изгибающий момент от действия ветровой нагрузки МН·м}$$

$$\varphi := 1 \text{ - коэффициент учитывающий увеличение жесткости конструкции}$$

$\sigma := 140$ -допускаемое напряжение при 20 С, МПа

$n := 20$ -число фундаментных болтов

$b := 0.04$ -изгиб выступающей части кольца, м

$D_1 := D_H - 0.06 = 1.76$ -внутренний диаметр фундаментного кольца, м

$D_2 := D_H + 2 \cdot s + 0.2 = 2.04$ -наружный диаметр, м

$W := \left(\frac{\pi}{32} \right) \left[\frac{(D_2^4 - D_1^4)}{D_2} \right] = 0.372 \text{ м}^2$ -момент сопротивления изгибу опорной площади фундаментного кольца,

$F := \frac{\pi (D_2^2 - D_1^2)}{4} = 0.836$ -опорная площадь фундаментного кольца, м²

Максимальное напряжение на опорной поверхности фундаментного кольца при максимальном весе аппарата и соответствующим изгибающим моментам:

$$\sigma_{\max 1} := \left(\frac{Q_{\max}}{F} \right) + \frac{M}{W} = 0.897 \text{ МПа}$$

$$\delta_K := \varphi \cdot b \cdot \sqrt{3 \cdot \frac{\sigma_{\max 1}}{\sigma}} = 5.545 \times 10^{-3} \text{ -толщина фундаментного кольца, м}$$

Принимаем толщину фундаментного кольца равной 10 мм;

Минимальное напряжение на опорной поверхности фундаментного кольца при минимальном весе аппарата и соответствующем опрокидывающим моменте равно:

$$\sigma_{\min} := \left(\frac{Q_{\min}}{F} \right) - \frac{M}{W} = 0.379 \text{ МПа}$$

Положительное значение σ_{\min} свидетельствует о расчете аппарата на устойчивость.

Коэффициент устойчивости:

$$U := Q_{\min} \cdot 0.42 \cdot \frac{D_H}{M} = 12.717$$

Исходя из расчета принимаем число болтов равным 20.

Нагрузку на наиболее нагруженный болт Рб приближенно можно :

$$P_{\text{б}} := \sigma_{\min} \cdot \frac{F}{n} = 0.016$$

-Внутренний диаметр резьбы фундаментного болта определяется из условия прочности на растяжение:

$$d_0 := \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\text{б}}}{\sigma}} + 0.003 = 0.015 \text{ м}$$

-Внутренний диаметр резьбы фундаментного болта определяется из условия прочности на растяжение:

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

Площадь опасного сечения сварного шва:

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

Момент сопротивления сварного шва изгибу:

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

Напряжение в сплошном сварном шве крепящим корпус аппарата к цилиндрической опорной части :

$$\sigma_c := \left(\frac{Q_{\max}}{f_c} \right) + \frac{M}{W_c} = 18.676 \text{ МПа}$$

Напряжение в сварном шве должно удовлетворять условию:

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

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

6.9 Расчет тепловой изоляции

Толщину тепловой изоляции находят из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду. В качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит (85% магнезии + 15% асбеста) имеющий коэффициент теплопроводности $\lambda=0,098 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ [1.с529]

. Температуру стенки $t_{\text{ст}}$ примем равной 80°C (близкой к температуре в кубе колонны). Температуру изоляционного слоя примем равной 45°C , температуру окружающей среды примем 35°C ; $\Delta t = t_{\text{из}} - t_{\text{окр}} = 45 - 35 = 10^\circ\text{C}$.

$$\alpha_{\text{в}}(t_{\text{ст}2} - t_{\text{в}}) = \frac{\lambda_{\text{н}}}{\delta_{\text{н}}}(t_{\text{ст}1} - t_{\text{ст}2}) \quad (71)$$

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{в}} = 9,74 + 0,07 * \Delta t = 9,74 + 0,07 * 10 = 10,44 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$

Исходя из рекомендаций[2,с,177] для аппаратов, работающих на открытом воздухе в зимнее время, температура стенки находится в интервале от $0-10^\circ\text{C}$
 $t_{\text{в}}$ – температура окружающей среды, -10°C

$$\delta_{\text{н}} = \frac{0,098(80-45)}{10,44(45+10)} = 0,032\text{м} \quad \text{т.к. наиболее горячая часть колонны это куб.}$$

можно принять ту же толщину слоя изоляции

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

Институт	Институт физики высоких технологий
Направление подготовки	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Уровень образования	Бакалавриат
Кафедра	Общей химии и химической технологии
Период выполнения	Весенний семестр 2015/2016 учебного года

Студенту:

Группа	ФИО
2к22	Галееву Вильяму Рашитовичу

Тема работы:

Проектирование ректификационной колонны установки для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	22.03.2016, 1631/С

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Анализ расходов действующего предприятия
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Расчет затрат
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Расчет капитальных затрат на новое оборудование</i>	Расчет покупки, монтажа и установки
2. <i>Расчет дополнительных затрат на новое оборудование</i>	Годовые расходы по покупке, монтажу и установке

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2к22	Галееву Вильяму Рашитовичу		

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

7.1. Расчет покупки, монтажа и установки

1. Затраты на **аренду помещений** определяются исходя из расценок арендной платы по следующей формуле:

$$A_{\text{пом}} = S_{\text{пом}} * C_{\text{ап}} * K_{\text{кор}} = 150 * 1920 * 0,3 = 86400 \text{ руб.},$$

где $S_{\text{пом}}$ – площадь арендуемого помещения = 150 м²;

$C_{\text{ап}}$ - ставка арендной платы = 1920 руб./м²;

$K_{\text{кор}}$ – коэффициент корректировки стоимости арендной платы, исходя из района города и характера помещения = 0,3.

Расходы на наладку и монтаж оборудования

Таблица 12

Наименование нормативов	% от стоимости оборудования	Стоимость, тыс.руб.
1. На устройство фундаментов	10	10000
2. На технологические трубопроводы	20	20000
3. На антикоррозионные работы	5	5000
4. На кабельные разводки	5	5000
5. На КИПиА	10	10000
6. На монтаж оборудования	22	22000
8. На вспомогательное оборудование	5	5000
Общая сумма		77000

4. Обслуживание

Для обслуживания ректификационной колонны требуется смена операторов. В одной смене 4 оператора. Всего две смены по четыре оператор. Смена длится 12 часов .

Таблица 13

Этапы расчета	Содержание расчетов	Подробно
1	2	3
1. Расчет численности персонала: • основных рабочих;	16 человек	Табл. 14
2. Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника	2928 часов	Табл. 15
3. График сменности	Таблица	Табл. 16
4. Расчет сменооборота и количества выходных дней в году	$T_{СО}, T_{ВЫХ}$	Табл. 15,16
5. Расчет тарифного фонда зарплаты	$Z_{ТАР} = T_{СТ} T_{ЭФФ} = 250 * 2928 * 16 = 11\,712\,000$ руб. где $T_{СТ}$ - тарифная ставка соответствующего разряда рабочего	
6. Премияльные ($D_{ПРЕМ}$)	$20\% \text{ от } Z_{ТАР} = 11\,712\,000 * 0,2 = 2\,342\,400$ руб.	
7. Доплата за работу в праздничные дни ($D_{ПР}$)	$T_{ПР} * T_{СТ} * N_{ЯВ} = 12 * 250 * 8 = 24\,000$ руб. где $T_{ПР}$ - количество праздников в году; $N_{ЯВ}$ - явочная численность рабочих	
8. Основная зарплата ($Z_{ОСН}$)	$Z_{ТАР} + D_{ПРЕМ} + D_{ПР} = 11\,712\,000 + 2\,342\,400 + 24\,000 = 3537600$ руб.	
9. Дополнительная зарплата ($Z_{ДОП}$)	$(D_{Н} * Z_{ОСН}) / T_{ЭФФ} = (360 * 3537600) / 2928 = 434950$ руб. где $D_{Н}$ - количество дней/часов невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, ученические, гособязанности)	
10. Районный коэффициент	1,3 для Томска	
11. Начисления на зарплату ($Z_{НАЧ}$)	26% от $(Z_{ОСН} + Z_{ДОП}) = 0,26 * (3537600 + 434950) = 1032863$ руб.	

12. Общая зарплата	$Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{нач} = 3537600 + 434950 + 1032863 = 5005413$ руб.	
--------------------	---	--

Расчет численности персонала

Таблица 14

Категория персонала	Норма об-ния, $N_{обс}$	Число смен в сутки, S	Число единиц об-ния, n	Явочная чис-сть, $N_{яв}$	Списочная чис-ть, $N_{сп}$
Основные рабочие	0,25	2	1	8	16

Эффективное время работы персонала определяется из баланса рабочего времени (табл.15).

Таблица 15

Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	4380
2.	Нерабочие дни <ul style="list-style-type: none"> • выходные • праздничные 	91	1092
3.	Номинальный фонд рабочего времени	274	3288
4.	Планируемые невыходы <ul style="list-style-type: none"> • очередные и дополнительные отпуска • невыходы по болезни • декретные отпуска • отпуск в связи с учебой без отрыва от производства • выполнение госуд. обязанностей 	30	360
5.	Эффективный фонд рабочего времени	244	2928

Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (график сменности - в табл.16).

Таблица 16

График сменности

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

Годовые расходы по покупке, монтажу и установке

Таблица 17

Наименование объекта	Общая стоимость руб.	Подробно
1. Строительство (аренда) производственных помещений, м ²	86 400	
2. Приобретение оборудования	100 000 000	
3. Расходы на монтаж и наладку оборудования	77 000 000	Табл.12
4.Обслуживание	5 005 413	Табл.13
Всего	182 091 813	

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

Институт	Институт физики высоких технологий
Направление подготовки (специальность)	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Уровень образования	Бакалавриат
Кафедра	Общей химии и химической технологии
Период выполнения	Весенний семестр 2015/2016 учебного года

Студенту:

Группа	ФИО
2к22	Галеев Вильям Рашитович

Тема работы:

Проектирование ректификационной колонны установки для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол

Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)

22.03.2016, 1631/С

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; 	<p>1.1.Выявление вредных факторов при эксплуатации объекта исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> -вредные вещества (бензол,хлороформ) СанПиН 2.2.2.1332-03, производственный шум СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96, вибрация СанПиН 2.2.4/2.1.8.566-96; -микроклиматические условия СанПиН
---	--

<ul style="list-style-type: none"> – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>2.2.4.548-96</p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности веществ и их связь с разрабатываемой темой; - предлагаемые средства защиты для работы на установке переработки нефти: (коллективная защита – шумоизолирующие конструкции, индивидуальные средства защиты – костюм, ботинки, перчатки, каска, очки защитные, маска) -вредное воздействие компьютера <p>1.2.Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации установок:</p> <ul style="list-style-type: none"> -пожары, взрывы, утечки, электричество; - термическая опасность (оборудования с повышенной температурой) СанПиН2.1.7.2790-10; - электробезопасность (наличие химически активной и органической среды, разрушающей изоляцию и токоведущие части электрооборудования) СанПиН 2971-84; - пожаровзрывоопасность (оборудования, работающие под давлением и наличие легковоспламеняющихся жидкостей) СанПиН2.6.1.1192-03
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – Обоснование мероприятий по защите окружающей среды. 	<ul style="list-style-type: none"> - вредные вещества, которые выделяются или используются вовремя производственного процесса в атмосферу(пары хлороформа и бензола); -влияние на гидросферу отсутствует; - влияние на литосферу отсутствует; - разработаны решения по обеспечению экологической безопасности
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<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"> 1. использование огнетушителя, песка, азбестового одеяла 2. в случае стихийных бедствий

	отключение воды и электричества 3. организационная эвакуация работающих.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014) - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ ИНК	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2к22	Галеев Вильям Рашитович		

8. 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 по пунктам:

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

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

- дистилята (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 углеводородов 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.

Техника безопасности и противопожарная техника, охрана окружающей среды и экология.

Поддержание комфортных условий труда и отдыха ведет к повышению производительности труда. Анатомические и физиологические особенности

человека должны приниматься во внимание при выборе оптимальных параметров среды. 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 условий освещенности рабочего места, средств взрывозащиты и прочие. Проводится анализ условий труда на соответствие требованиям нормативных документов.

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 дипломная работа выполнялась по расчету ректификационной колонны для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол в г. Томск, который относится к 1 группе административного района. [5]

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 вредное воздействие. Бензол — токсичное вещество. По ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые

концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» определили, Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров бензола в производственном помещении составляет 15 мг/м^3 . Данный показатель соответствует 2 классу опасности, то есть, как Высокоопасный 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» определили, Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров хлороформа в производственном помещении составляет 10 мг/м^3 . Данный показатель соответствует 2 классу опасности, то есть, как Высокоопасный 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.

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[9].

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.

В качестве искусственного освещения выбираем люминесцентные открытые двухламповые светильники типа ОДО-2-40, удовлетворяющим требованиям взрыво-пожаробезопасности, а также для работы в пыльных

помещениях. В качестве естественного освещения выбираем боковую систему освещения от оконных проемов, коэффициент естественного освещения $e=1,2$.

В лаборатории искусственное освещение обеспечивается четырьмя люминесцентными лампами и освещенность $E = 400$ люкс [9].

Расчет освещенности

Геометрические размеры лаборатории следующие:

Ширина $A= 10$ м;

Длина $B= 15$ м;

Высота $H= 20$ м.

Минимальное освещение:

$E_T=400$ лк.

Коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли при люминесцентных лампах:

$k=1,5$.

Расчетная освещенность:

$E_p = E_T * k = 400 * 1,5 = 600$ лк.

Свес светильников с потолка: $h_c=0,2$ м.

Высота рабочей поверхности над полом: $h_p=14$ м.

Высота подвеса светильников над рабочим местом: $h=H-h_c-h_p=20-0,2-14=5,8$ м.

Площадь помещения:

$S=A*B=10*15=150$ м².

Удельная мощность:

$w=15$ Вт/м².

Суммарная установленная мощность:

$P=S*w=150*15=2250$ Вт.

Мощность одного светильника:

$P_i=80$ Вт.

Количество светильников: $n=P/P_j=2250/80=28$ шт.

Для равномерного общего освещения светильники располагаются в коридорном порядке.

Размеры светильника типа ОД-2-40:

Ширина 266 мм;

Длина 1230 мм;

Высота 156 мм.

Величина светового потока лампы:

$$F=(E*k*S*z)/(np),$$

где $E=400\text{лк}$ - минимальная освещенность,

$k=1,5$ - коэффициент запаса для люминесцентных ламп,

$S=10*15=150\text{ м}^2$ - площадь помещения

$z=0,9$ - коэффициент неравномерности освещения

$i=S/(h(A+B))= 150/(20 (10+15))=0,3$ - индекс помещения,

$p_n=70\%$ - коэффициент отражения потолка

$p_c=50\%$ - коэффициент отражения стен

$p_l=0,3$ - коэффициент использования светового потока.

$$F=(400*1,5*150*0,9)/(28*0,3)=9642\text{лм}$$

$$F_{\text{ТАБЛ}}=2480\text{лм}$$

$$((F-F_{\text{ТАБЛ}})/F) * 100\% = ((9642-2480)/9642) * 100\% = 74,2\%$$

Шумы и вибрации

Шум и вибрация в большей или меньшей степени могут временно активизировать или постоянно подавлять определенные психические процессы организма человека. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом 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. В основе

профессиональной тугоухости лежит повреждение кортиева органа, расположенного во внутреннем ухе.

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.-88 [9]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА. [10].

Конструктивные средства уменьшения шума основаны на использовании следующих принципов:

- экранирование – способность преград создавать зону "звуковой тени". Эффективность экрана зависит от длины звуковой зоны по отношению к размерам препятствия, т.е. от частоты колебаний. В помещении из-за наличия отраженного шума эффект экрана меньше, чем в открытом пространстве;
- звукоизоляция – способность преград отражать звуковую энергию.
- звукопоглощение – способность пористых и рыхловолокнистых материалов, а также резонансных конструкций поглощать звуковую энергию. Звукопоглощающий материал, установленный на стенах помещения, уменьшает составляющую отраженного шума.

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.

Микроклиматические условия

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. Оптимальны такие параметры микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакций терморегуляции, что создает ощущение теплового комфорта и служит предпосылкой для высокой работоспособности. 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. При этом не возникают нарушения состояния здоровья, но может наблюдаться ухудшение самочувствия и понижение работоспособности. 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. [8]

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 соответствуют СанПиН 2.2.4.548-96 [8].

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 табл. 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 нашем помещении существуют действующие вентиляция и водяное отопление, которые позволяют поддерживать необходимую температуру, соответствующую СанПин 2.2.4.548-96 [8].

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.

Вредное воздействие компьютера

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

- Проблемы с мышцами. Длительное сидячее положение негативно сказывается на циркуляции крови в теле.
- 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.
- Проблемы со зрением. Глаза человека, который по несколько часов в день смотрит в монитор, находятся в постоянном напряжении.
- Нарушение внимания и умственная усталость в процессе поиска информации на компьютере возникают гораздо быстрее, нежели при работе с другими источниками информации.
- Влияние компьютера на нервную систему.

Для уменьшения пагубного влияния компьютера необходимо сокращать время работы за ним или делать больше перерывов.

1.2. Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации научного исследования

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:

электрический ток незрим, не имеет ни запаха, ни цвета, действует бесшумно, а поэтому не обнаруживается органами чувств до начала его действия на организм;

Невозможно без специальных приборов определить наличие напряжения в проводниках;

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;

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;

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;

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 две электротравмы: 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.

Возникает судорожное сокращение мышц, которое «приковывает» пострадавшего к источнику тока. «Приковывающий» эффект делает невозможным самостоятельное освобождение от источника тока, что значительно увеличивает время его действия и отягощает травму. Поражение нервной и сердечно-сосудистой системы 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.

Основные способы и средства электрозащиты:

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;

- зануление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электробезопасности.

2. Экологическая безопасность

Работа с данной ректификационной колонны оказывает негативного влияния на качество окружающей среды.. При работе с ректификационной колонной отвод сточных вод отсутствует, как и отходы в литосферу, из-за ненужности.

Решения по обеспечению экологической безопасности

Охрана окружающей среды достигается комплексом мероприятий, направленных на предотвращение утечек нефти, нефтепродуктов и сокращение потерь от испарения.

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

- принятие герметичных схем приема-откачки нефти, нефтепродуктов;
- обеспечение сбора утечек нефти с оборудования в подземные дренажные емкости с дальнейшим возвратом в технологический процесс;
- подъем 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 твердого 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;

– переработку сырья и нефтепродуктов при минимально возможных (по технологическим параметрам) температурах.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

3.1. Перечень возможных ЧС при эксплуатации установки переработки нефти- пожар, взрыв

Данное рабочее место относится к взрывоопасному помещению категории Д. 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.

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.

При работе на участке водоочистки необходимо следить за тем, чтобы вода не попадала на электропроводку и распределительные коробки, так как это может привести к короткому замыканию и пожару.

Все переходы должны быть свободными и иметь, по крайней мере, хотя бы два выхода, не должно быть длинных тупиковых проходов.

Все двери и все ворота для машин должны открываться наружу. Здание иметь оконные перелеты, которые располагаются, как правило, в одной плоскости с внутренней поверхностью стен. В зданиях должны быть предусмотрены вытяжные шахты для дымоудаления.

Для оказания первой помощи в лаборатории всегда должны быть:

1. бинты;
2. гигроскопическая вата;
3. 3%-ый раствор йода;
4. 2%-ый раствор борной кислоты;
5. 2%-ый раствор уксусной кислоты;

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.

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 [7].

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. [14]

Управление охраной труда осуществляет блок федеральных органов исполнительной власти, руководимый Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации (Минздравсоцразвития). Оно осуществляет функции государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере здравоохранения и социального развития, социального страхования, условий и охраны труда и т. д.

Функции по контролю и надзору, которые ранее осуществлялись Санэпиднадзором Минздрава России, **переданы Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор).**

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.

В федеральном законе “О пожарной безопасности” (1994) определяются общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в России, дается регулирование отношений между органами государственной власти, органами местного самоуправления, предприятиями, организациями, крестьянскими хозяйствами и иными юридическими лицами независимо от форм собственности.[10]

Федеральный закон “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” (1997) определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности организаций к локализации последствий аварий.

Федеральный закон “О радиационной безопасности населения” (1995) характеризует правовые основы обеспечения радиационной безопасности населения в целях охраны его здоровья.

Заключение

В процессе проделанной работы была рассчитана ректификационная установка для разделения смеси бензол-толуол.

Были получены следующие данные: тип тарелок ТС-Р с диаметром колонны 1800 мм ; количество дистиллята и кубового остатка; расход тепла на подогрев и испарение смеси; основные размеры ректификационной установки; число тарелок

Рассчитана изоляция колонны ее толщина , а также произведен расчет гидравлический ;

Ректификационная колонна установлена на опору типа 1 с $G \cdot 10^2 = 10$ МН.

Список использованной литературы

1. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов. Л.: Химия, 2007, 576с.
2. Дытнерский Ю.А., Процессы и аппараты химической технологии. 2-е изд., перераб. и дополн.- М.: Химия, 2010, 496с.
3. Лащинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Л.: Машиностроение, 2008, 752с.
4. Марочник сталей и сплавов ,3-е изд. Стереотипное. А.С. Зубченко ;Под общей ред. А.С. Зубченко - М:Машиностроение,2011,784 с.
5. "Свод правил. естественное и искусственное освещение. СП 52.13330.2011" (утв. приказом минрегиона РФ от 27.12.2010 n 783).
6. Семакина О.К.;Машины и аппараты химических производств: Учебное пособие. Часть I;
8. СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
9. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
10. ГОСТ 12.1.003-88 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
11. Инструкция по охране труда по электробезопасности.
12. ПРИКАЗ от 18.06.2003/г. Москва/ №314/ Об утверждении норм пожарной безопасности "Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности" (НПБ 105-03)
13. Закон Российской Федерации “О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера”
14. Федеральный закон «О пожарной безопасности».
15. Экология и безопасность жизнедеятельности» Под редакцией доктора физ.-мат. наук, чл.-корр. РЭА, профессора Л.А. Муравья.
16. ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.

17. ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
18. ГОСТ Р 52857.3-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
19. ГОСТ Р 52857.4-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
20. 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.

Приложение 1. Графики для нахождения рабочего флегмового числа.

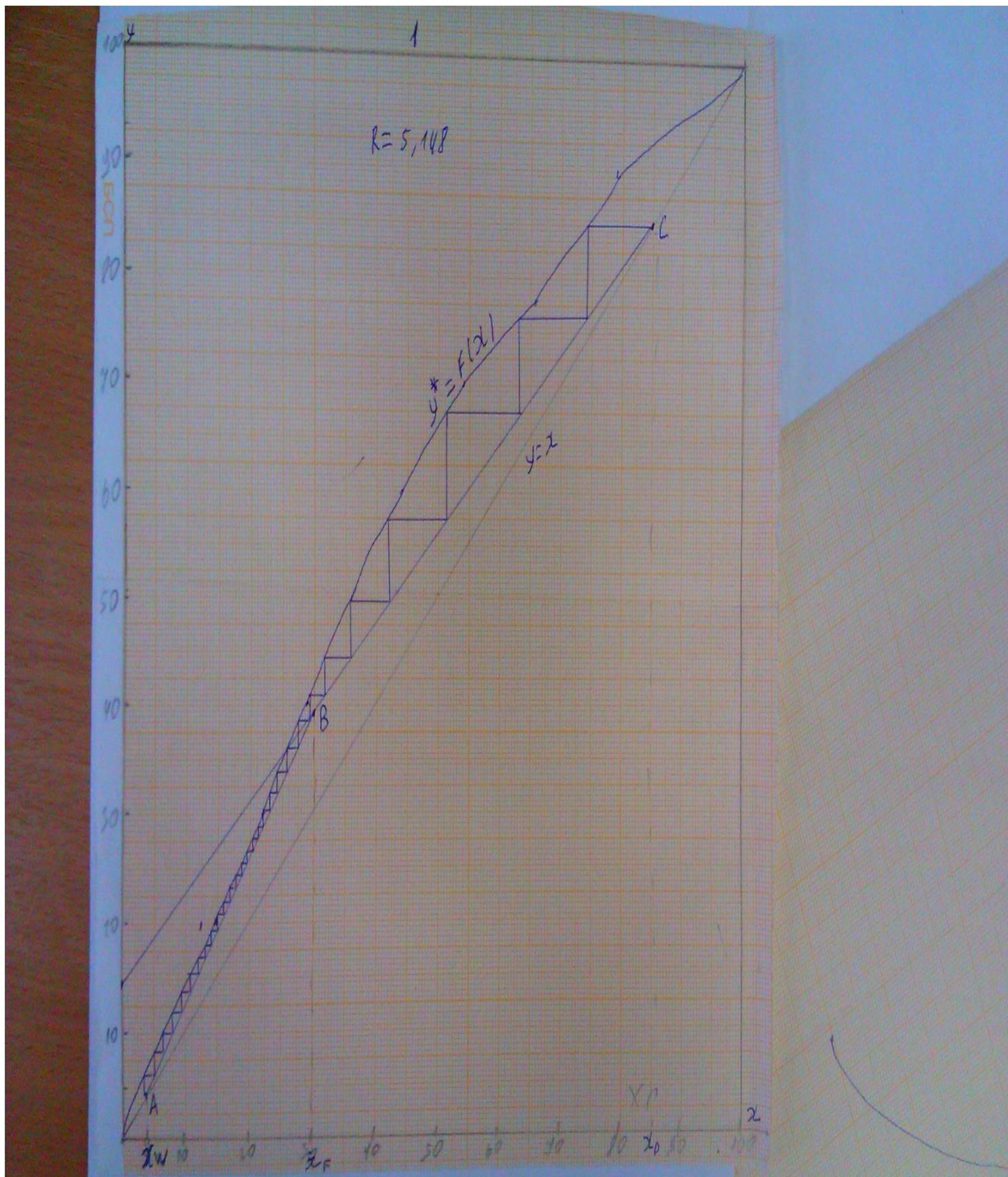


График 1. Нахождение числа теоретических тарелок при $R=5.148$

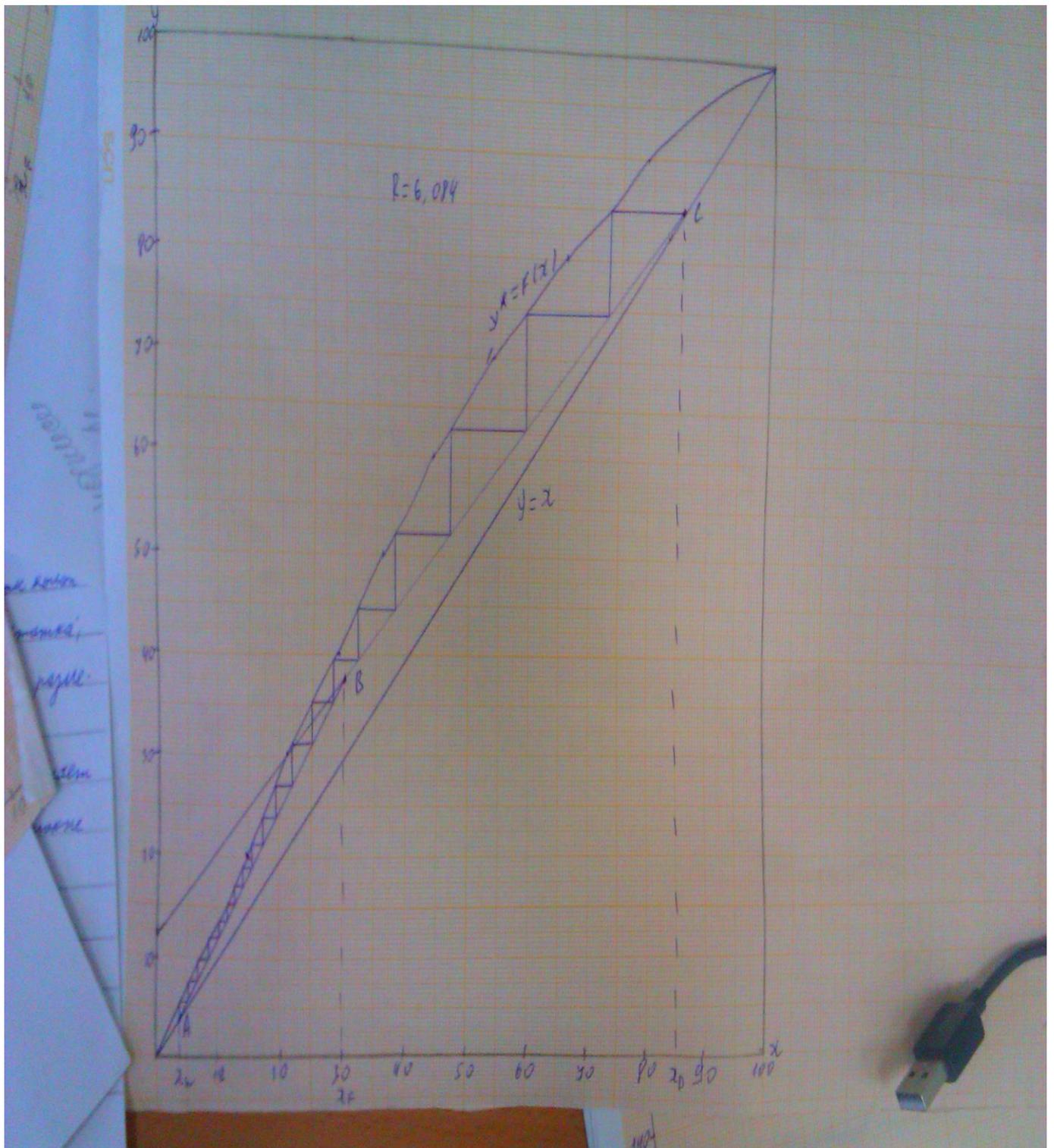


График 2. Нахождение числа теоретических тарелок при $R=6.084$

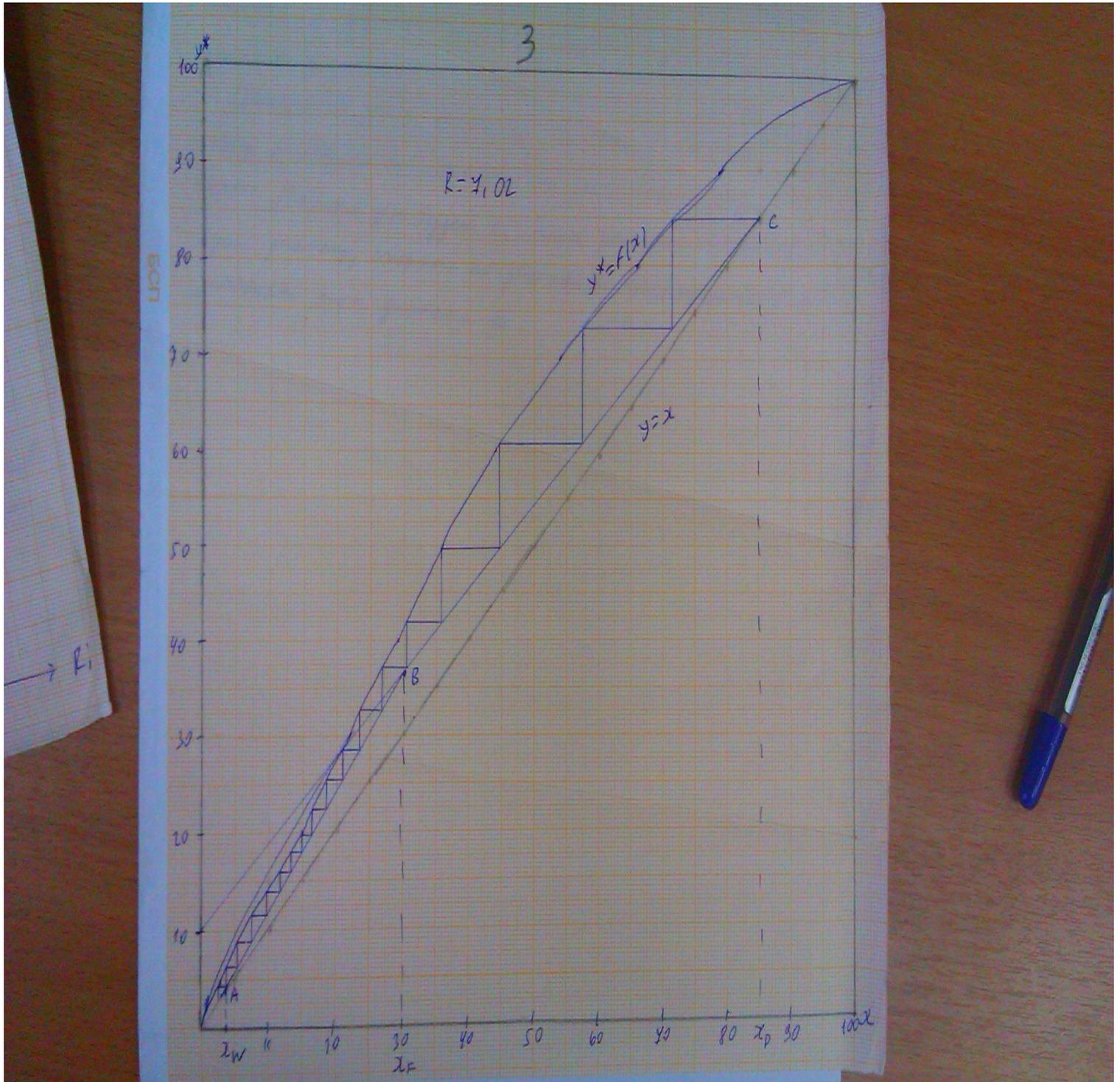


График 3. Нахождение числа теоретических тарелок при $R=7.02$