



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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|--|
| Проектирование установки ректификации спирта |

УДК 661.725.048.3

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 3-2К51 | Бахмутов Александр Юрьевич | | |

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

Консультант по разделу «Механический расчет оборудования»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП 18.03.02 2020г

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



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

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|----------------------------|
| 3-2К51 | Бахмутов Александр Юрьевич |

Тема работы:

| | |
|--|-------------------------|
| Проектирование установки ректификации спирта | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | 02.03.2020 г., №62-13/С |
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 19.05.2020 |

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|--|--|
| Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i> | Рассчитать и спроектировать установку по ректификации этилового спирта. Производительность по конечному продукту – 0,17 кг/с (10 кг/час). Содержание легколетучего компонента в массовых %: <ul style="list-style-type: none">• в исходной смеси – 20;• в дистилляте - 80;• в кубовом остатке – 2; Давление ректификации – атмосферное. |
|--|--|

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

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Тихонов Виктор Владимирович | к.т.н. доцент | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 3-2К51 | Бахмутов Александр Юрьевич | | |

Реферат

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, содержащей 102 страниц машинописного текста, 23 рисунков, 17 таблиц, 31 источников литературы, 4 листа графического материала формата А1.

Выпускная квалификационная работа «Проектирование установки ректификации спирта».

Ключевые слова: колонна, ректификация, насадка, кольца Рашига, бинарная смесь.

Объектом исследования является ректификационная колонна для разделения бинарной смеси вода-этиловый спирт.

Цель работы – рассчитать ректификационную колонну для заданных технологических условий.

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

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Аппарат диаметром 325 мм, толщина стенки обечайки 10 мм, высота 2565 мм, 4 штуцера диаметром 25 мм и 1 штуцер диаметром 40 мм.

Область применения: химическая промышленность.

В ходе работы было подтверждено, что рассчитанная ректификационная колонна соответствует всем предъявляемым требованиям технологического процесса.

Abstract

The thesis project consists of an explanatory note containing 102 pages of typewritten text, 23 figures, 17 tables, 31 literature sources, 4 sheets of graphic material in A1 format.

The final qualifying work "Designing a rectification system for alcohol."

Key words: column, rectification, packing, Raschig rings, binary mixture.

The object of study is a distillation column for the separation of a binary mixture of water-ethyl alcohol.

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

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

The main structural, technological, and technical and operational characteristics: A device with a diameter of 325 mm, a shell wall thickness of 10 mm, a height of 2565 mm, 4 fittings with a diameter of 25 mm, and 1 fitting with a diameter of 40 mm.

Scope: chemical industry.

In the course of the work, it was confirmed that the calculated distillation column meets all the requirements of the technological process.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

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

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

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

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

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

Содержание

| | |
|---|-----|
| Введение | 9 |
| 1 Литературный обзор | 10 |
| 2 Технологическая схема | 13 |
| 3 Технологический расчет ректификационной колонны | 14 |
| 3.1 Материальный баланс колонны и рабочее флегмовое число | 14 |
| 3.2 Скорость пара и диаметр колонны | 23 |
| 3.3 Высота насадки | 26 |
| 3.4 Гидравлическое сопротивление насадки | 31 |
| 3.5 Тепловой расчет | 33 |
| 3.6 Расчет тепловой изоляции | 34 |
| 4 Выбор конструкционного материала | 36 |
| 4.1 Определение расчетных параметров | 36 |
| 4.2 Определение прибавок на различные виды разрушений | 38 |
| 4.3 Выводы по выбору конструкционных материалов | 38 |
| 5 Механический расчет ректификационной колонны | 39 |
| 5.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки колонны | 40 |
| 5.2 Расчет толщины эллиптической крышки (днища) | 47 |
| 5.3 Расчет штуцеров и подбор фланцев | 50 |
| 5.4 Расчет фланцевого соединения корпуса с крышкой | 54 |
| 5.5 Расчет колосниковой решетки | 66 |
| 5.6 Расчет аппарата на прочность | 68 |
| 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 76 |
| 6.1 Планирование научного исследования | 77 |
| 6.2 Расчет затрат на выполнение ВКР | 81 |
| 6.3 Определение ресурсной эффективности исследования | 86 |
| 7 Социальная ответственность | 91 |
| 7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 91 |
| 7.2 Производственная безопасность | 92 |
| 7.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов | 94 |
| 7.4 Экологическая безопасность | 96 |
| 7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 97 |
| Заключение | 99 |
| Список использованных источников | 100 |

Введение

Производство этанола в современном мире является одной из первостепенных задач любого развитого государства. Огромный спрос на этанол обусловлен его применением не только в медицинской и пищевой областях, но и в качестве топлива или добавок к нему.

Использование топлива на основе этанола, по-видимому, является наилучшим решением при выборе заменителя бензина. Это не только экологически чистое топливо, а как следствие и безопасное для окружающей среды, но и производство этанола совершенно не зависит от объемов добываемой нефти, т.к. его можно производить практически из любой растительности, в состав которой входит глюкоза и ее гомологи.

В любой технологической схеме получения этанола всегда будет присутствовать ректификационная колонна, т.к. только при помощи ректификации возможно добиться максимальной чистоты получаемого спирта.

Ректификационные колонны бывают двух типов: тарельчатый и насадочные. Основными рабочими параметрами процесса ректификации, на основе которых производится расчет и выбор основных размеров колонны являются давление и температура в системе, флегмовое число, число теоретических тарелок. При правильном выборе этих параметров обеспечивается разделение исходной смеси на составляющие ее компоненты с наибольшей эффективностью и с наименьшими капитальными затратами.

1 Литературный обзор

Дистилляция упоминалась еще в 384 - 322 гг. до н.э. Она была придумана для испарения морской воды и приготовления из нее питьевой. Римляне и александрийцы (из Александрии, Египет) перегоняли чистую древесную смолу, чтобы сконденсировать испаренное масло скипидара (брезента). В этих процессах используются конденсационные рукава с воздушным кодированием (выход из кипящего сосуда), что также позволяет выходить наиболее летучему компоненту. Вероятно, именно арабы впервые обнаружили различные масла (натуральные растительные масла, используемые в основном как ароматизаторы или духи) путем перегонки растительного сока. Позже химики, используя дистилляционные аппараты, смогли приготовить относительно чистую азотную кислоту и другие минеральные кислоты.

Приготовление алкогольных напитков дистилляцией происходило с древних времен. Дистиллированный алкоголь, обнаруженный в Италии в начале двенадцатого века, сначала использовался как лекарство.

Дистилляция - это метод, используемый для разделения смеси жидкость-жидкость, пар-пар, пар-жидкость. Таким образом, основное требование к разделению компонентов дистилляцией состоит в том, чтобы состав пара отличался от состава жидкости, с которой он находится в равновесии. Если состав пара такой же, как у жидкой фазы, процессы перегонки не будут влиять на разделение. Но в случае, когда состав пара больше жидкости, состав и процесс дистилляции приведут к хорошему разделению, и сложный процесс будет затронут, если состав пара меньше, чем у жидкости.

Разделение жидких смесей на несколько компонентов является одной из основных операций в химической и нефтяной промышленности, а ректификация является наиболее широко используемым методом достижения этой цели. Ректификация является ключевой и самой энергозатратной операцией нефтеперерабатывающего завода. Во всей химической промышленности спрос на более концентрированные продукты в сочетании с неуклонным стремлением к большей эффективности вызвал необходимость продолжения исследований в области разделения жидки, газовых или газо-жидкостных смесей. Работа ограничена ситуациями, когда компоненты распределяются между жидкой и паровой фазами. Парообразная фаза генерируется за счет добавления тепла, а разделение усиливается за счет разности давлений паров компонентов, следовательно, их температур кипения.

Насадочные колонны обычно используются для перегонки, газопоглощения и жидкостно-жидкостной экстракции. Они обеспечивают непрерывный контакт жидкости и

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 10 |

газа как в противотоке, так и в параллельных потоках и представляют собой вертикальные колонны, заполненные насадками или устройствами, повышающими поверхность контакта. Жидкость распределяется и стекает через уплотненный слой, обнажая большую поверхность для контакта с газом, в то время как газ или пар движутся вверх противотоком. В некоторых газопоглощающих колоннах используется параллельный поток.

Насадка для ректификационной колонны должны обладать следующими характеристиками [1]:

- обеспечивать большую поверхность раздела между жидкостью и газом;
- создавать желаемые характеристики жидкости;
- быть химически инертной по отношению к обрабатываемым жидкостям;
- обладать структурной прочностью, позволяющей легко обрабатываться и устанавливаться без разрушения и истирания.
- обладать низкой стоимостью
- обладать малым весом и высокой насыпной плотностью.

Существует два основных типа укладки насадки в колонну:

- а. случайный;
- б. регулярные упаковки.

Производительность насадочной колонны зависит от поддержания хорошего распределения жидкости и газа по насадочному слою, и это является важным фактором при проектировании насадочной колонны.

Заполненная дистилляционная колонна похожа на тарелочную колонну с замененными тарелками. Насадочные колонны в нефтехимической отрасли считаются более экономичными, чем тарельчатые колонны по следующим причинам [2]:

- а. для колонн диаметром менее 0,6 м насадка обычно дешевле тарелок, если не требуются насадка из легированных металлов;
- б. кислоты и многие другие коррозионные материалы можно разделять в насадочных колоннах, поскольку насадка может быть из керамики, углерода или других стойких материалов;
- с. насадка часто демонстрирует желательные характеристики снижения эффективности для критических вакуумных перегонок;
- д. Перегрев жидкости может быть довольно низким в насадочных колоннах, преимущество, когда жидкость термочувствительна.

Условия, неблагоприятные для насадочных колонн:

- а. если в жидкости или газе присутствуют твердые вещества, колонны могут быть спроектированы так, чтобы облегчить очистку;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 11 |

б. некоторые насадки легко ломаются при засыпании в колонку или в результате теплового расширения и сжатия;

с. высокие скорости жидкости часто могут быть более экономичными в колоннах с тарелками, чем в колоннах с насадкой;

д. охлаждающие змеевики могут быть легче встроены в пластинчатые устройства;

е. низкий расход жидкости приводит к полной сварке уплотнений колонны, что снижает эффективность контакта;

ж. колонны с насадкой имеют более узкий рабочий диапазон, чем колонны с тарелками.

Стоимость и выбор конструкционных материалов также являются важными факторами при выборе той или иной конструкции ректификационной колонны.

Обычно принято увеличивать расчетную высоту насадки на 40 процентов, чтобы учесть проблемы распределения жидкости и смачивания [1].

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 12 |

2 Технологическая схема

На рисунке 2.1 представлена технологическая схема ректификации бинарной смеси этанол-вода.

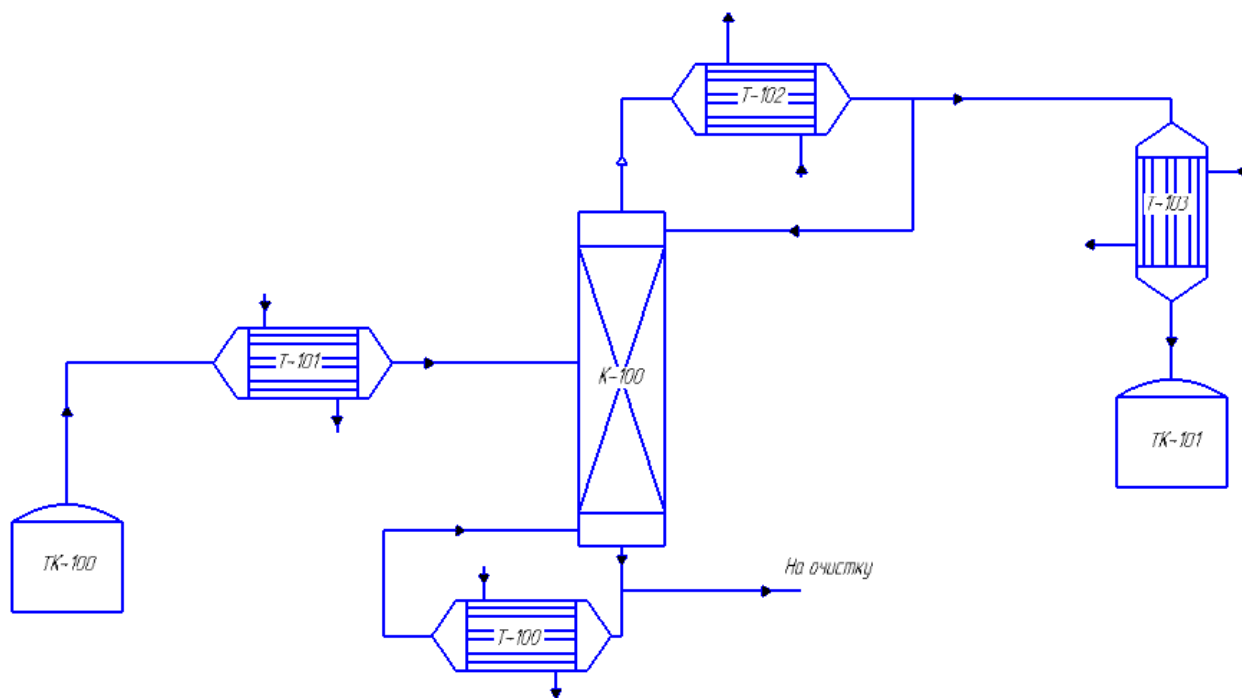


Рисунок 2.1 – Технологическая схема ректификации бинарной смеси этанол-вода: ТК–100 – бункер хранения исходной смеси; ТК–101 – бункер хранения этанола; Т-100,101 – теплообменник; Т-102 – теплообменник-конденсатор; Т-103 - холодильник

Исходная бинарная смесь этанол-вода из емкости хранения ТК-100 направляется на подогрев в теплообменник Т-101. Проходя через теплообменник Т-101 исходная смесь нагревается до температуры кипения и после направляется в насадочную ректификационную колонну К-100. В колонне К-100 бинарной смеси путем одновременного тепло- и массообмена разделяется на 80% этанол и воду. Образовавшийся этанол удаляется сверху колонны К-100 и проходя через теплообменник-конденсатор Т-102 разделяется на 2 потока. Первый поток возвращается в колонну К-100 в виде флемы, второй поток проходит через холодильник Т-103 и далее направляется в бункер хранения этанола ТК-101. Из куба колонны К-100 обирается вода и разделяется на 2 потока: первый поток проходя через теплообменник Т-100 нагревается и возвращается в куб колонны К-100; второй поток отправляется на очистку от механических примесей, образовавшихся из-за истирания насадки.

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

ФЮРА.КР.000000 ПЗ

Лист

13

3 Технологический расчет ректификационной колонны

3.1 Материальный баланс колонны и рабочее флегмовое число

В данном разделе будет произведен расчет материального баланса ректификационной колонны для перегонки смеси этанол-спирт, работающей под атмосферным давлением, с заданными параметрами: производительность – 0.17 кг/с, содержание легколетучего компонента в исходной смеси – 20 масс. %, содержание легколетучего компонента в дистилляте – 80 масс. %, концентрация легколетучего компонента в кубовом остатке – 2 масс. %. Будут построены фазовые диаграммы процессов, определено рабочее флегмовое число установки, а также расходы жидкости в верхней и нижней частях колонны.

3.1.1 Материальный баланс ректификационной колонны

Материальный баланс процесса ректификации состоит из двух уравнений:

Общее уравнение материального баланса:

$$G_F = G_P + G_W, \quad (3.1)$$

где G_F — массовый расход исходной смеси, кг/с;

G_P — массовый расход дистиллята, кг/с;

G_W — массовый расход кубового остатка, кг/с.

Производительность в кг/с:

$$G_P = 0.17 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Уравнение материального баланса по низкокипящему компоненту:

$$G_F \cdot \bar{X}_F = G_P \cdot \bar{X}_P + G_W \cdot \bar{X}_W, \quad (3.2)$$

где \bar{X}_F — массовая доля низкокипящего компонента в исходной смеси, % масс.;

\bar{X}_P — массовая доля низкокипящего компонента в дистилляте, % масс.;

\bar{X}_W — массовая доля низкокипящего компонента в кубовом остатке, % масс.

Из уравнения (3.1) выразим массовый расход исходной смеси и подставим его в уравнение (3.2), чтобы определить массовый расход кубового остатка. Чтобы определить недостающее значение расхода, подставим результат в уравнение (3.1).

$$\begin{aligned} (G_P + G_W) \cdot \bar{X}_F &= G_P \cdot \bar{X}_P + G_W \cdot \bar{X}_W; \\ G_W &= \frac{G_P \cdot (\bar{X}_P - \bar{X}_F)}{\bar{X}_F - \bar{X}_W} = \frac{0.17 \cdot (0.8 - 0.2)}{0.2 - 0.02} = 0.57 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; \\ G_F &= G_P + G_W = 0.17 + 0.57 = 0.74 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \end{aligned}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 14 |

3.1.2 Пересчет состава фаз из массовых долей в мольные

Пересчитаем составы фаз из массовых долей в мольные:

$$X = \frac{\frac{\bar{X}}{M_{\text{ннк}}}}{\frac{\bar{X}}{M_{\text{ннк}}} + \frac{1 - \bar{X}}{M_{\text{внк}}}} \quad (3.3)$$

где $M_{\text{ннк}}$ — молярная масса низкокипящего компонента, г/моль;

$M_{\text{внк}}$ — молярная масса высококипящего компонента, г/моль;

X — мольная доля низкокипящего компонента;

\bar{X} — массовая доля низкокипящего компонента.

В данном проекте низкокипящим компонентом является этанол с молярной массой $M_{\text{Э}} = 46 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$, высококипящим компонентом — вода с молярной массой $M_{\text{В}} = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$.

Осуществим перевод массовых долей в мольные:

$$X_F = \frac{\frac{\bar{X}_F}{M_{\text{Э}}}}{\frac{\bar{X}_F}{M_{\text{Э}}} + \frac{1 - \bar{X}_F}{M_{\text{В}}}} = \frac{\frac{0.2}{46}}{\frac{0.2}{46} + \frac{1 - 0.2}{18}} = 0.089 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}};$$

$$X_P = \frac{\frac{\bar{X}_P}{M_{\text{Э}}}}{\frac{\bar{X}_P}{M_{\text{Э}}} + \frac{1 - \bar{X}_P}{M_{\text{В}}}} = \frac{\frac{0.8}{46}}{\frac{0.8}{46} + \frac{1 - 0.8}{18}} = 0.61 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}};$$

$$X_W = \frac{\frac{\bar{X}_W}{M_{\text{Э}}}}{\frac{\bar{X}_W}{M_{\text{Э}}} + \frac{1 - \bar{X}_W}{M_{\text{В}}}} = \frac{\frac{0.02}{46}}{\frac{0.02}{46} + \frac{1 - 0.02}{18}} = 0.008 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}};$$

3.1.3 Построение фазовых диаграмм

Для построения t-x, y диаграммы заданной бинарной смеси и ее линии равновесия нужно определить равновесные составы фаз разделяемой смеси. Данные таблицы 3.1 взяты из [1].

Таблица 3.1 — Равновесные составы фаз смеси этанол-вода

| t, °C | x | y* |
|-------|-------|-------|
| 78.3 | 1 | 1 |
| 80 | 0.884 | 0.905 |
| 82 | 0.742 | 0.811 |
| 84 | 0.624 | 0.782 |

Продолжение таблицы 3.1

| | | |
|-----|-------|-------|
| 86 | 0.522 | 0.773 |
| 88 | 0.432 | 0.762 |
| 90 | 0.354 | 0.743 |
| 92 | 0.262 | 0.704 |
| 94 | 0.182 | 0.642 |
| 96 | 0.114 | 0.554 |
| 98 | 0.054 | 0.353 |
| 100 | 0 | 0 |

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

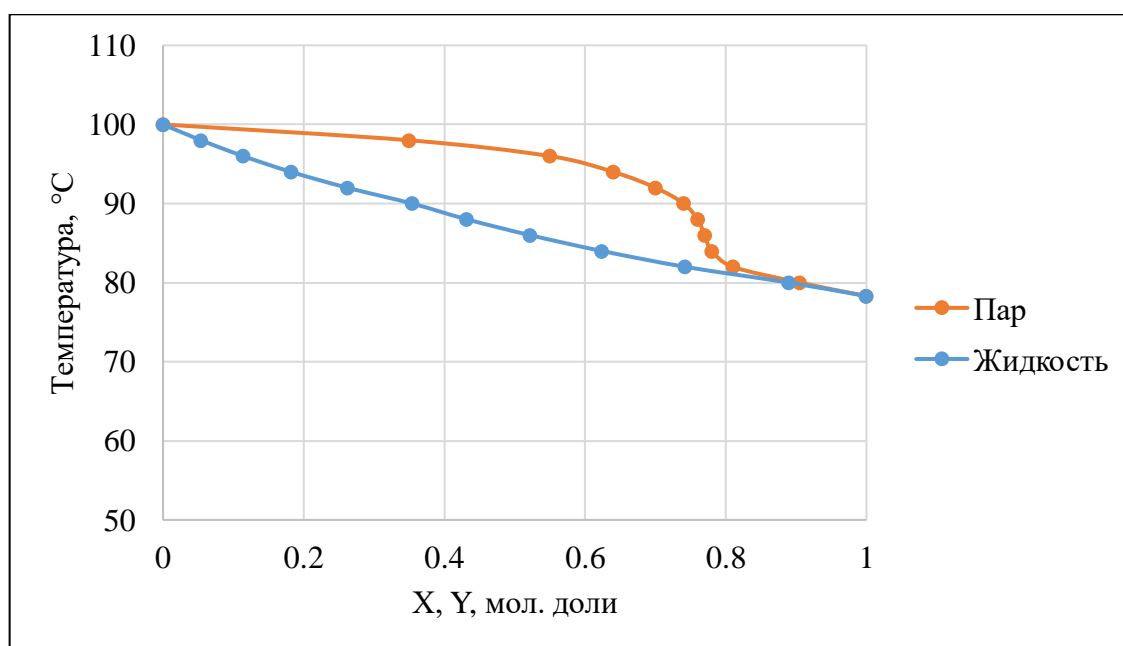


Рисунок 3.1 — t - x , y диаграмма для бинарной смеси этанол – вода

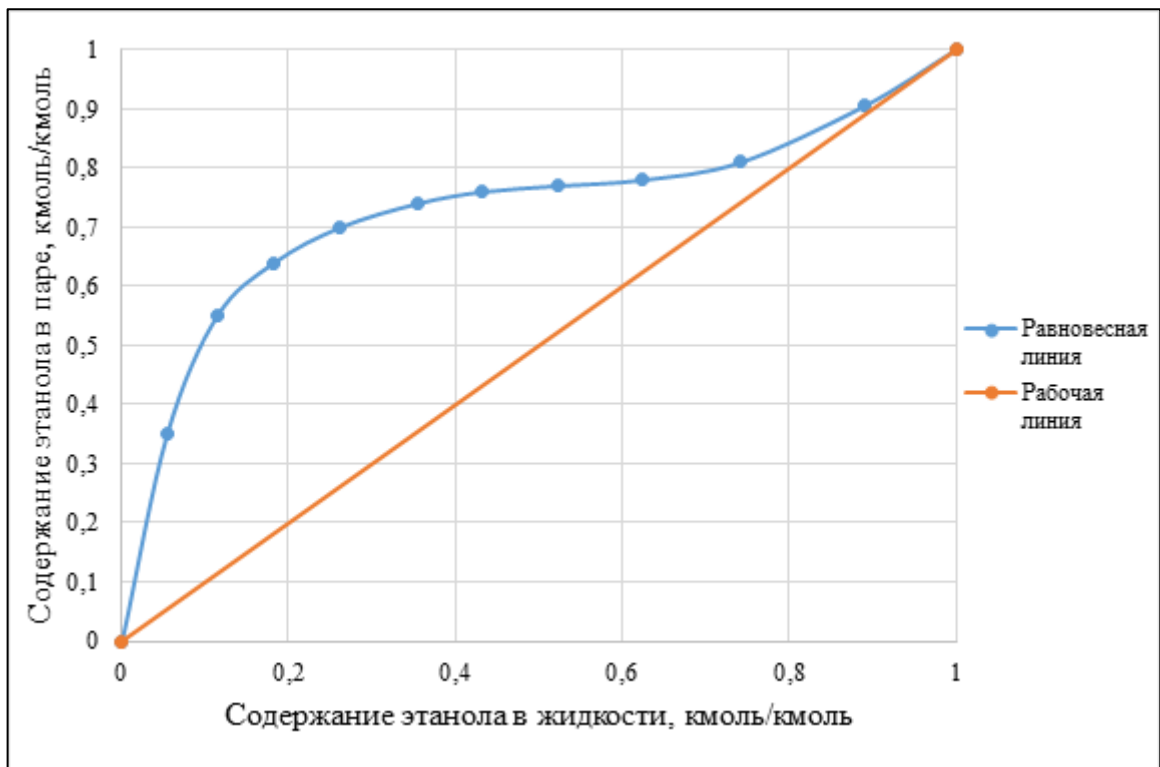


Рисунок 3.2 — y-x диаграмма для бинарной смеси этанол – вода при $P = 760$ мм рт.ст.

3.1.4 Определение рабочего флегмового числа

Для начала, найдем минимальное флегмовое число из формулы (3.4):

$$R_{min} = \frac{X_P - Y_F^*}{Y_F^* - X_F'} \quad (3.4)$$

где X_P, X_F, Y_F^* – мольные доли этанола в дистилляте, исходной смеси и в паре исходной смеси соответственно (определяются по рисунку 3.2).

$$R_{min} = \frac{0.61 - 0.480}{0.480 - 0.089} = 0.33$$

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

$$R = \beta \cdot R_{min}. \quad (3.5)$$

Для каждого значения R на y-x диаграмме строим рабочие линии для верхней и нижней частей колонны по уравнениям:

для верхней части:

$$y = \frac{R}{R+1} + \frac{X_p}{R+1}, \quad (3.6)$$

для нижней части:

$$y = \frac{R+F}{R+1} - \frac{F-1}{R+1} \cdot X_w. \quad (3.7)$$

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

В каждом случае определим число теоретических ступеней изменения концентрации N_T .

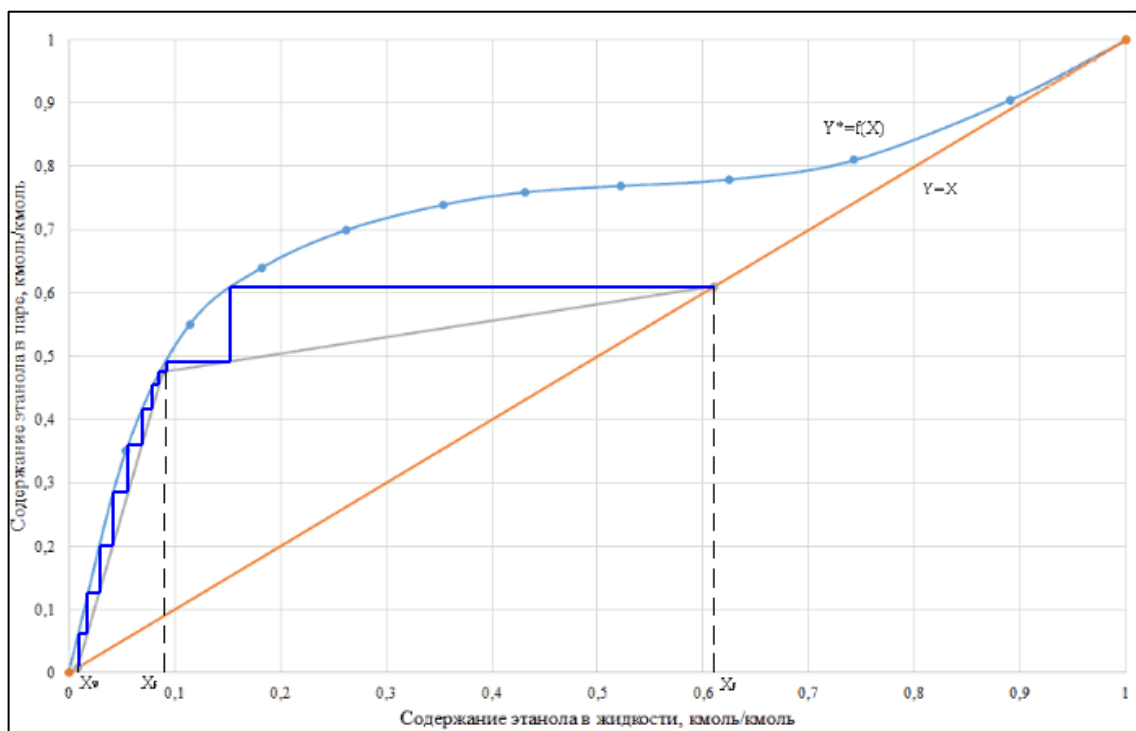


Рисунок 3.3 (а) — Определение числа теоретических ступеней при $\beta = 1.05$

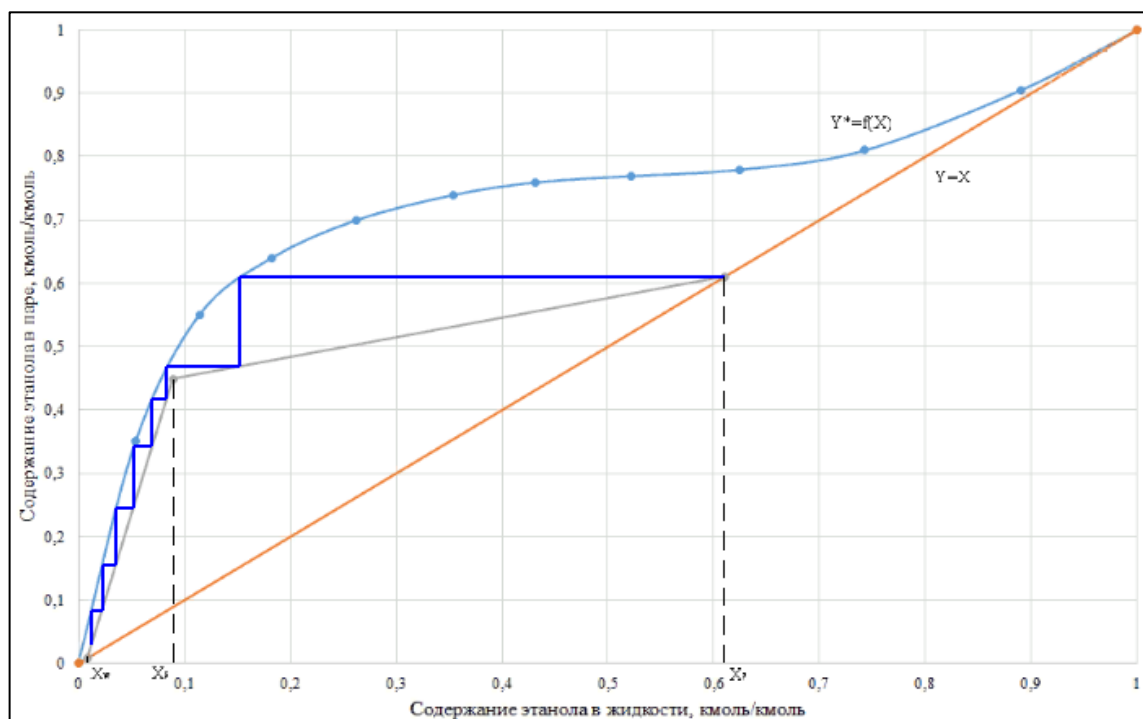


Рисунок 3.3 (б) — Определение числа теоретических ступеней при $\beta = 1.35$

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

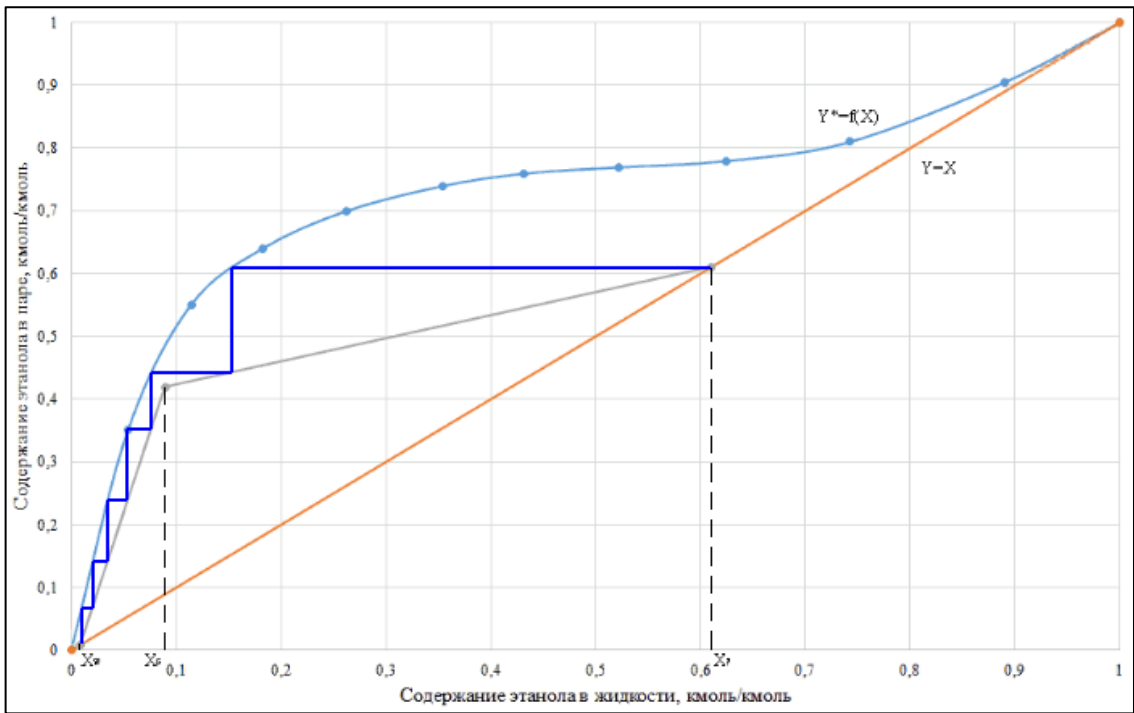


Рисунок 3.3 (в) — Определение числа теоретических ступеней при $\beta = 1.75$

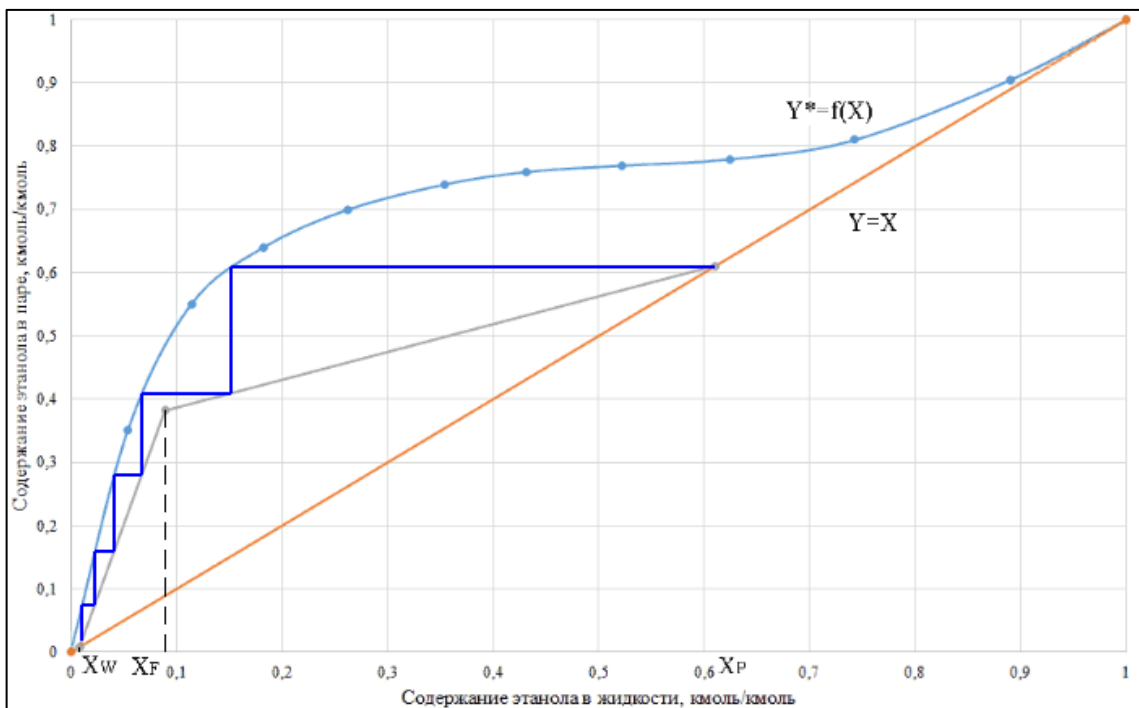


Рисунок 3.3 (г) — Определение числа теоретических ступеней при $\beta = 2.35$

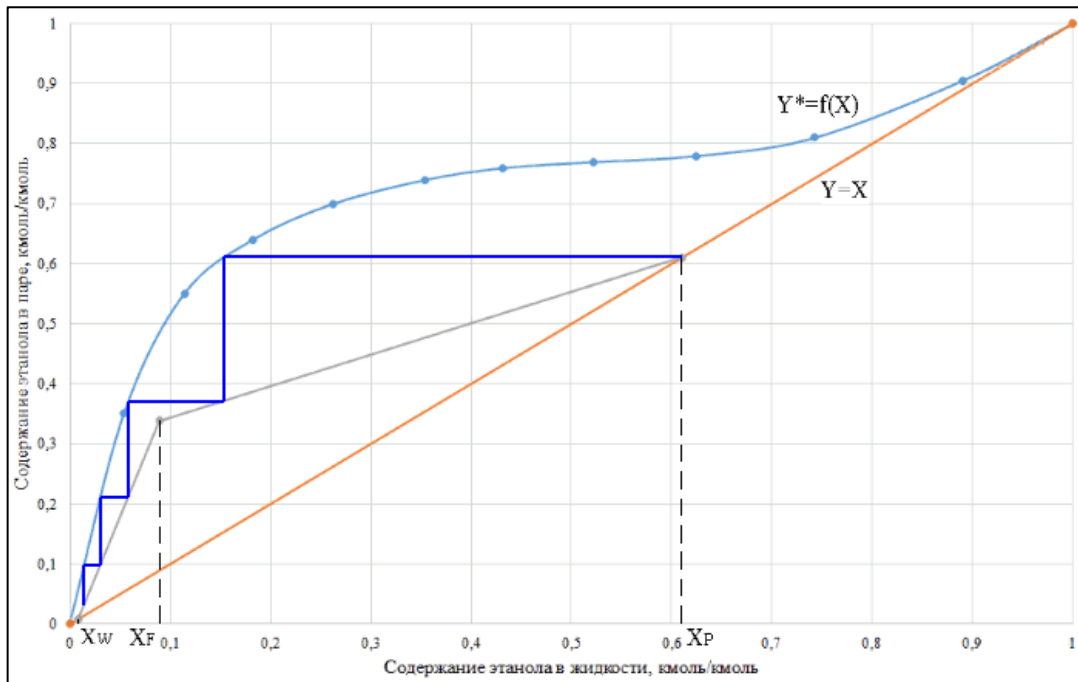


Рисунок 3.3 (д) — Определение числа теоретических ступеней при $\beta = 3.3$

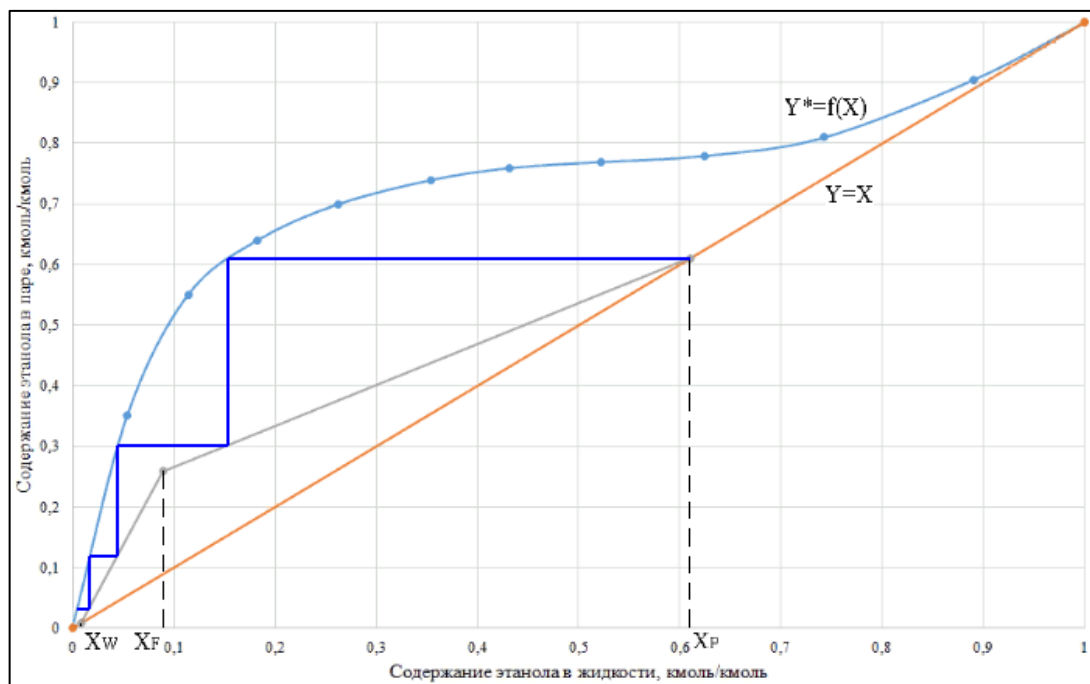


Рисунок 3.3 (е) — Определение числа теоретических ступеней при $\beta = 6,25$

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 — Данные для определения рабочего флегмового числа

| | | | | | | |
|------------|-------|-------|------|------|------|-------|
| β | 1.05 | 1.35 | 1.75 | 2.35 | 3.30 | 6.25 |
| R | 0.35 | 0.45 | 0.58 | 0.78 | 1.09 | 2.06 |
| $N(R + 1)$ | 13.47 | 10.12 | 9.47 | 8.88 | 8.36 | 10.72 |

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

На данном этапе необходимо построить график зависимости $N(R+1) = f(R)$, по которому будет определено оптимальное рабочее флегмовое число, соответствующее минимуму данного графика. График представлен на рисунке 3.4.

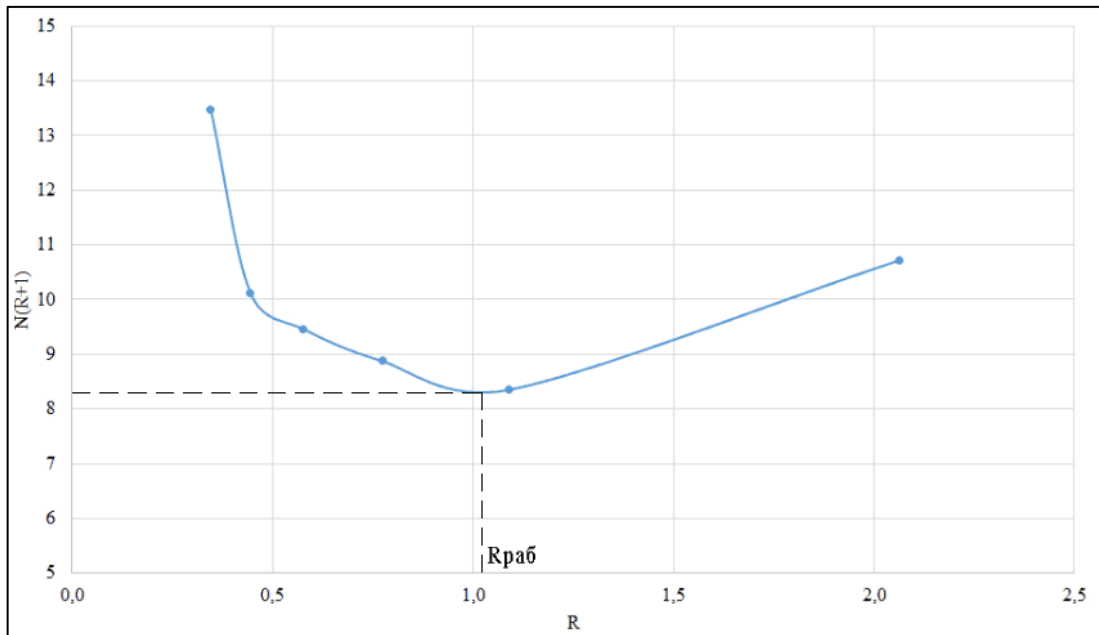


Рисунок 3.4 — Определение рабочего флегмового числа

Минимуму на графике соответствует $R_{раб} = 1.02$. Коэффициент избытка флегмы в этом случае:

$$\beta = \frac{R_{раб}}{R_{min}} = \frac{1.02}{0.33} = 3.09$$

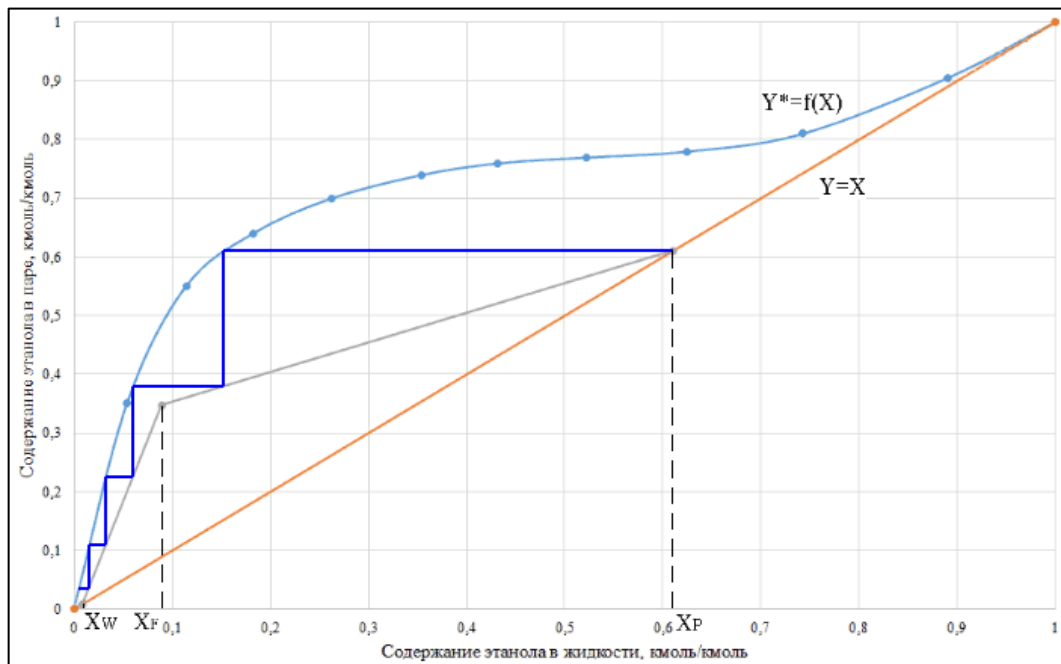


Рисунок 3.5 — Изображение рабочих линий в диаграмме у—х диаграмме при действительном флегмовом числе $R = 1.02$

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

3.1.5 Массовые расходы жидкости в укрепляющей и исчерпывающей частях

КОЛОННЫ

Средние массовые расходы по жидкости для укрепляющей и исчерпывающей частей колонны определяются из следующих соотношений [1]:

$$L_B = \frac{PRM_B}{M_P}; \quad (3.8)$$

$$L_H = \frac{PRM_H}{M_P} + \frac{FM_H}{M_F}, \quad (3.9)$$

где M_P и M_F – мольные массы дистиллята и исходной смеси;

M_B и M_H – средние мольные массы жидкости в укрепляющей и исчерпывающей частях колонны.

Средние мольные массы жидкости в укрепляющей и исчерпывающей частях колонны:

$$\begin{aligned} M_B &= M_{ЭТ}x_{ср.в} + M_B(1 - x_{ср.в}); \\ M_H &= M_{ЭТ}x_{ср.н} + M_B(1 - x_{ср.н}), \end{aligned} \quad (3.10)$$

где $M_{ЭТ}$ и M_B – мольные массы этанола и воды соответственно равные 46 кг/кмоль и 18 кг/кмоль;

$x_{ср.в}$ и $x_{ср.н}$ – средний мольный состав жидкости в укрепляющей и исчерпывающей частях колонны:

$$\begin{aligned} x_{ср.в} &= \frac{x_P + x_F}{2} = \frac{0.61 + 0.089}{2} = 0.35 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}; \\ x_{ср.н} &= \frac{x_F + x_W}{2} = \frac{0.089 + 0.008}{2} = 0.05 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}. \end{aligned}$$

Тогда:

$$\begin{aligned} M_B &= M_{ЭТ}x_{ср.в} + M_B(1 - x_{ср.в}) = 46 \cdot 0.35 + 18 \cdot (1 - 0.35) = \\ &= 27.79 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}; \\ M_H &= M_{ЭТ}x_{ср.н} + M_B(1 - x_{ср.н}) = 46 \cdot 0.05 + 18 \cdot (1 - 0.05) = \\ &= 19.36 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}. \end{aligned}$$

Мольная масса исходной смеси:

$$\begin{aligned} M_F &= M_{ЭТ} \cdot X_F + M_B(1 - X_F) = 46 \cdot 0,089 + 18 \cdot (1 - 0,089) = \\ &= 20.49 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}. \end{aligned}$$

Мольную массу дистиллята:

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|------|
| | | | | | Лист |
| | | | | | 22 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | |

$$M_p = M_{\text{эт}} \cdot X_p + M_B(1 - X_p) = 46 \cdot 0.61 + 18 \cdot (1 - 0.61) = 35.08 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

Подставим рассчитанные величины в уравнения

$$L_B = \frac{PRM_B}{M_p} = \frac{0.17 \cdot 1.02 \cdot 27.79}{35.08} = 0.96 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$L_H = \frac{PRM_H}{M_p} + \frac{FM_H}{M_F} = \frac{0.17 \cdot 1.02 \cdot 19.36}{54.36} + \frac{7.42 \cdot 19.36}{20.49} = 7.67 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Средние массовые потоки пара равны:

$$\begin{aligned} G_B &= G_p(R + 1) \frac{M'_B}{M_p}; \\ G_H &= G_p(R + 1) \frac{M'_H}{M_p}. \end{aligned} \quad (3.11)$$

где M'_B и M'_H — средние молярные массы паров в верхней и нижней частях колонны:

$$\begin{aligned} M'_B &= M_{\text{эт}} \cdot y_{\text{ср.в}} + M_B \cdot (1 - y_{\text{ср.в}}); \\ M'_H &= M_{\text{эт}} \cdot y_{\text{ср.н}} + M_B \cdot (1 - y_{\text{ср.н}}), \end{aligned} \quad (3.12)$$

где

$$\begin{aligned} y_{\text{ср.в}} &= 0.38 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}; \\ y_{\text{ср.н}} &= 0.08 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}. \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} M'_B &= M_{\text{эт}} \cdot y_{\text{ср.в}} + M_B \cdot (1 - y_{\text{ср.в}}) = 46 \cdot 0.38 + 18 \cdot (1 - 0.38) = \\ &= 28.69 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M'_H &= M_{\text{эт}} \cdot y_{\text{ср.н}} + M_B \cdot (1 - y_{\text{ср.н}}) = 46 \cdot 0.08 + 18 \cdot (1 - 0.08) = \\ &= 20.26 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}. \end{aligned}$$

Подставляя численные значения в уравнения (3.11), получаем:

$$G_B = G_p(R + 1) \frac{M'_B}{M_p} = 0.17 \cdot (1.02 + 1) \cdot \frac{28.69}{35.08} = 1.13 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$G_H = G_p(R + 1) \frac{M'_H}{M_p} = 0.17 \cdot (1.02 + 1) \cdot \frac{20.26}{35.08} = 0.80 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

3.2 Скорость пара и диаметр колонны

В данном разделе будут рассчитаны скорости потоков в разрабатываемой колонне и подобран диаметр установки.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 23 |

Предельную фиктивную скорость пара $\omega_{\text{п}}$ определяют по уравнению [1]:

$$\frac{\omega_{\text{п}}^2 \cdot a \cdot \rho_{\text{у}} \cdot \mu_{\text{х}}^{0.16}}{g \cdot \varepsilon^3 \cdot \rho_{\text{х}}} = 1.2 \cdot \exp \left[-4 \cdot \left(\frac{L}{G} \right)^{0.25} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{у}}}{\rho_{\text{х}}} \right)^{0.125} \right] \quad (3.13)$$

где $\rho_{\text{х}}, \rho_{\text{у}}$ — средние плотности жидкости и пара, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $\mu_{\text{х}}^{0.16}$ — вязкость, мПа.С; a — удельная поверхность, $\frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}$; g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; ε — свободный объем, $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$; L — расход жидкой фазы; $\text{кг}/\text{с}$; G — расход паровой фазы, $\text{кг}/\text{с}$;

Определим скорости захлебывания для каждой части отдельно.

3.2.1 Расчет плотности и вязкости компонентов

Найдем плотности жидкости $\rho_{\text{хв}}, \rho_{\text{хн}}$ и пара $\rho_{\text{ув}}, \rho_{\text{ун}}$ в верхней и нижней частях колонны при средних температурах в них $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$. Средние температуры паров определим по диаграмме $t - x, y$ по средним составам фаз: $t_{\text{ср.ув}} = 93.1 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{ср.ун}} = 98.5 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{ср.хв}} = 90.1 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{ср.хн}} = 98.5 \text{ }^\circ\text{C}$;

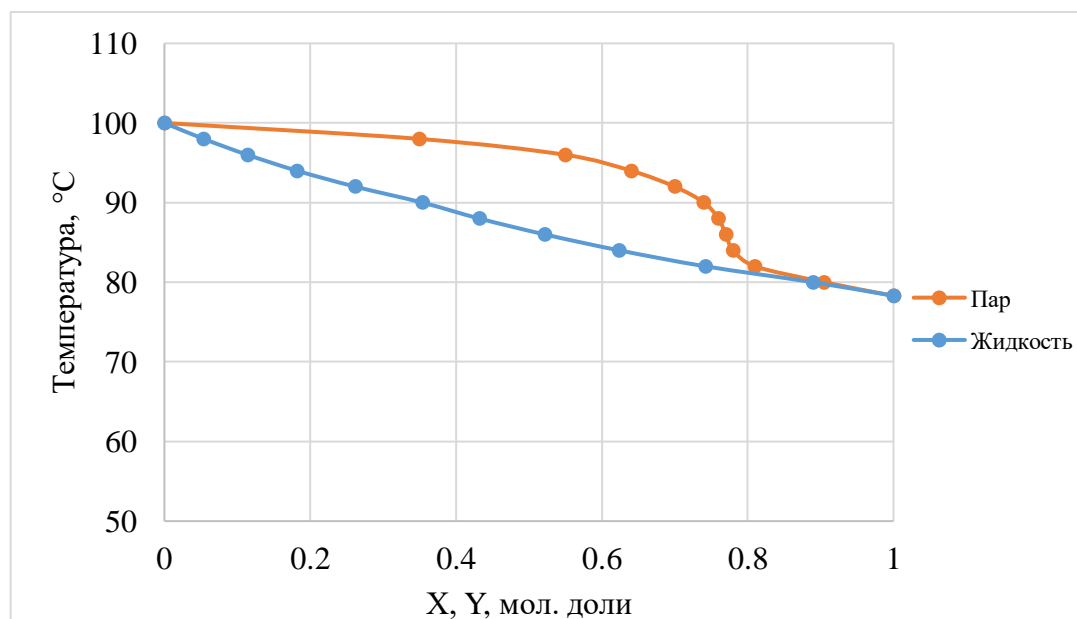


Рисунок 3.6 — $t-x, y$ диаграмма для бинарной смеси этанол-вода

Тогда, плотности пара $\rho_{\text{ув}}, \rho_{\text{ун}}$ в верхней и нижней частях колонны находим по уравнениям:

$$\rho_{\text{ув}} = \frac{M'_{\text{в}}}{22.4} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{в}}} = \frac{28.69}{22.4} \cdot \frac{273}{273 + 93.1} = 0.96 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{\text{ун}} = \frac{M'_{\text{н}}}{22.4} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{н}}} = \frac{20.26}{22.4} \cdot \frac{273}{273 + 98.5} = 0.66 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (3.14)$$

Плотность физических смесей жидкостей подчиняется закону аддитивности:

$$\rho_{см} = \rho_1 \cdot x_{об} + \rho_2(1 - x_{об}), \quad (3.15)$$

где $x_{об}$ – объемная доля компонента в смеси.

Находим плотности воды и этанола.

При $t_{ср.хн} = 98.5 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\rho_{C_2H_6O} = 694.2 \text{ кг/м}^3; \quad \mu_{C_2H_6O} = 0.326 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$\rho_{H_2O} = 959.8 \text{ кг/м}^3; \quad \mu_{H_2O} = 0.287 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

При $t_{ср.хв} = 90.1 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\rho_{C_2H_6O} = 707.3 \text{ кг/м}^3; \quad \mu_{C_2H_6O} = 0.381 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$\rho_{H_2O} = 965.3 \text{ кг/м}^3; \quad \mu_{H_2O} = 0.315 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

Для определения средней плотности жидкости в колонне переведем мольную долю жидкости в массовую по формуле [1]:

$$\bar{x} = \frac{M_A \cdot x}{M_{см}}, \quad (3.16)$$

$$\text{где } M_{см} = M_A \cdot x + M_B(1 - x). \quad (3.17)$$

$$M_{см.в.} = M_{эт} \cdot x_{ср.в.} + M_B(1 - x_{ср.в.}) = 46 \cdot 0.35 + 18 \cdot (1 - 0.35) = 27.79 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}};$$

$$M_{см.н.} = M_{эт} \cdot x_{ср.н.} + M_B(1 - x_{ср.н.}) = 46 \cdot 0.05 + 18 \cdot (1 - 0.05) = 19.36 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

$$\bar{x}_{ср.в.} = \frac{M_A \cdot x_{ср.в.}}{M_{см.в.}} = \frac{46 \cdot 0.35}{27.79} = 0.59 \frac{\text{кг}}{\text{кг смеси}};$$

$$\bar{x}_{ср.н.} = \frac{M_A \cdot x_{ср.н.}}{M_{см.н.}} = \frac{46 \cdot 0.05}{19.36} = 0.12 \frac{\text{кг}}{\text{кг смеси}}.$$

Находим плотности смеси в верхней и в нижней частях колонны по следующей формуле:

$$\frac{1}{\rho_{см}} = \frac{\bar{x}_1}{\rho_1} + \frac{(1 - \bar{x}_2)}{\rho_2}. \quad (3.18)$$

$$\frac{1}{\rho_{см}^в} = \frac{\bar{x}_{ср.в.}}{\rho_{C_2H_6O}} + \frac{(1 - \bar{x}_{ср.в.})}{\rho_{H_2O}} = \frac{0.59}{707.3} + \frac{(1 - 0.59)}{965.3} = 1.25 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \Rightarrow$$

$$\rho_{см}^в = 797.07 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\frac{1}{\rho_{см}^н} = \frac{\bar{x}_{ср.н.}}{\rho_{C_2H_6O}} + \frac{(1 - \bar{x}_{ср.н.})}{\rho_{H_2O}} = \frac{0.12}{694.2} + \frac{(1 - 0.12)}{959.8} = 1.09 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \Rightarrow$$

$$\rho_{см}^н = 919.27 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Вязкости жидкости в верхней и нижней частях колонны находим по уравнениям:

$$\lg \mu_{хв} = x_{ср} \cdot \lg \mu_{х_{этв}} + (1 - x_{срв}) \cdot \lg \mu_{х_{вн}}; \quad (3.19)$$

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|
| | | | | | Лист |
| | | | | | 25 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ФЮРА.КР.000000 ПЗ |

$$\lg \mu_{\text{хн}} = x_{\text{ср}} \cdot \lg \mu_{\text{х эт н}} + (1 - x_{\text{срн}}) \cdot \lg \mu_{\text{х в н}},$$

где $\mu_{\text{х эт}}$, $\mu_{\text{х в}}$ — вязкости этанола и воды.

Тогда

$$\lg \mu_{\text{хв}} = x_{\text{ср}} \cdot \lg \mu_{\text{х эт}} + (1 - x_{\text{срв}}) \cdot \lg \mu_{\text{х в}} = -0.47;$$

$$\lg \mu_{\text{хн}} = x_{\text{ср}} \cdot \lg \mu_{\text{х эт}} + (1 - x_{\text{срн}}) \cdot \lg \mu_{\text{х в}} = -0.54;$$

Исходя из этого:

$$\mu_{\text{хв}} = 0.34 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{хн}} = 0.29 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Предельная скорость паров в верхней и нижней частях колонны $\omega_{\text{п}}$ по формуле 3.13:

$$\omega_{\text{пв}} = 1.31 \text{ м/с}.$$

$$\omega_{\text{пн}} = 0.733 \text{ м/с}.$$

Примем рабочую скорость на 30% ниже предельной:

$$\omega_{\text{рв}} = 1.31 \cdot 0.7 = 0.917 \text{ м/с};$$

$$\omega_{\text{рн}} = 0.733 \cdot 0.7 = 0.513 \text{ м/с}.$$

Диаметр ректификационной колонны определим из уравнения расхода:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}}. \quad (3.20)$$

Отсюда диаметры верхней и нижней части колонны равны соответственно:

$$d_{\text{в}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.13}{3.14 \cdot 0.917 \cdot 0.95}} = 0.296 \text{ м};$$

$$d_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.8}{3.14 \cdot 1.76 \cdot 0.66}} = 0.318 \text{ м}.$$

Стандартный диаметр обечайки $d = 0.3 \text{ м}$ [4] примем одинаковым для обеих частей колонны.

В таком случае, действительные рабочие скорости паров в колонне:

$$\omega_{\text{в}} = \frac{\omega_{\text{рв}} \cdot d_{\text{в}}^2}{d} = \frac{2.46 \cdot 0.296^2}{0.3} = 0.718 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\omega_{\text{рн}} \cdot d_{\text{н}}^2}{d} = \frac{1.76 \cdot 0.318^2}{0.3} = 0.593 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

3.3 Высота насадки

Высоту насадки H найдем по модифицированному уравнению массопередачи (3.21):

$$H = n_{\text{оу}} h_{\text{оу}} \quad (3.21)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 26 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

где n_{oy} - общее число единиц переноса по паровой фазе;

h_{oy} - общая высота единицы переноса, м;

Общее число единиц переноса вычисляют по уравнению:

$$n_{oy} = \int_{y_w}^{y_p} \frac{dy}{y^* - y} \quad (3.22)$$

Решим этот интеграл методом графического интегрирования:

$$\int_{y_w}^{y_p} \frac{dy}{y^* - y} = SM_x M_y \quad (3.23)$$

где S - площадь, ограниченная кривой, ординатами y_w и y_p и осью абсцисс;

M_x , M_y - масштабы осей координат.

Данные для графического изображения функции $1/(y^* - y) = f(y)$ приведены ниже

Таблица 3.3 — Данные для графического изображения функции $1/(y^* - y) = f(y)$

| x | y_1^* | y | $y_1^* - y$ | $1/(y_1^* - y)$ |
|------|---------|------|-------------|-----------------|
| 0.04 | 0.09 | 0.07 | 0.03 | 35.91 |
| 0.06 | 0.13 | 0.10 | 0.03 | 39.63 |
| 0.09 | 0.17 | 0.15 | 0.02 | 49.41 |
| 0.16 | 0.28 | 0.22 | 0.07 | 14.77 |
| 0.20 | 0.34 | 0.25 | 0.09 | 10.99 |
| 0.28 | 0.45 | 0.32 | 0.13 | 7.69 |
| 0.32 | 0.50 | 0.36 | 0.15 | 6.86 |
| 0.40 | 0.60 | 0.43 | 0.17 | 5.89 |
| 0.44 | 0.64 | 0.46 | 0.18 | 5.62 |
| 0.60 | 0.79 | 0.60 | 0.19 | 5.38 |

Коэффициенты распределения в условиях равновесия:

$$m_b = 0.73$$

$$m_n = 1.375$$

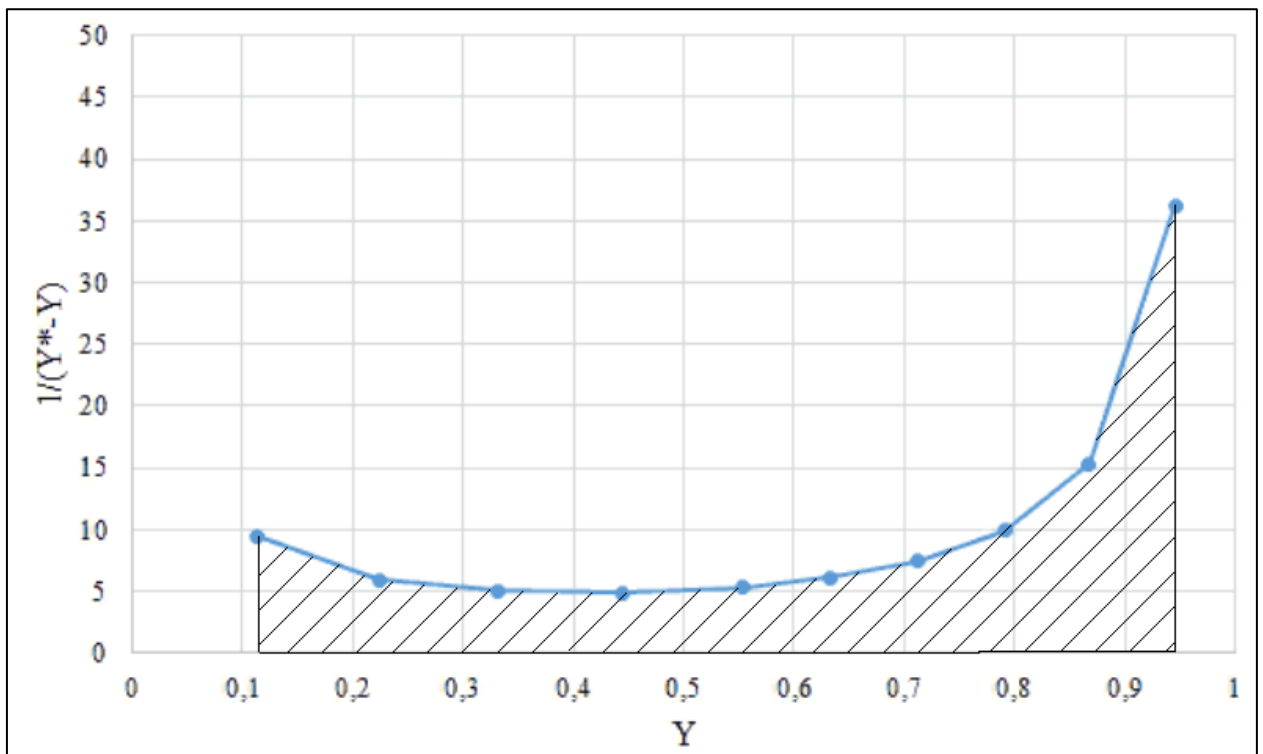


Рисунок 3.8 — Графическое определение общего числа единиц переноса в паровой фазе для верхней и нижней частей колонны

По рисунку 3.8 находим общее число единиц переноса в верхней и нижней частях колонны:

$$n_{оув} = \int_{y_w}^{y_p} \frac{dy}{y^* - y} = 0,12$$

$$n_{оун} = \int_{y_w}^{y_p} \frac{dy}{y^* - y} = 1,05$$

Общую высоту единиц переноса $h_{оу}$ определим по уравнению аддитивности [1]:

$$h_{оу} = h_y + \frac{mGh_x}{L} \quad (3.24)$$

где h_x и h_y — частные высоты единиц переноса соответственно в жидкой и паровой фазах;

m — средний коэффициент распределения в условиях равновесия.

Отношение нагрузок по пару и жидкости $\frac{G}{L}$, равно:

для верхней части колонны:

$$\frac{G}{L} = \frac{R + 1}{R} = \frac{1.02 + 1}{1.02} = 1.14;$$

для нижней части колонны:

$$\frac{G}{L} = \frac{R + 1}{R + f} = \frac{1.02 + 1}{1.02 + 7.42} = 0.384$$

где

$$f = \frac{FM_p}{PM_F} = \frac{0.74 \cdot 35.08}{0.17 \cdot 20.49} = 7.42.$$

Высота единицы переноса в жидкой фазе [1]:

$$h_x = 0.258 \cdot \Phi \cdot c \cdot Pr_x^{0.5} \cdot Z^{0.15}, \quad (3.25)$$

где c и Φ – коэффициенты, определяемые графически [1];

Pr_x – критерий Прандтля;

Z – высота слоя насадки одной секции, которая не превышает 3 м.

Высота единицы переноса в паровой фазе [1]:

$$h_y = \frac{0.0175 \cdot \psi \cdot Pr_y^{0.5} \cdot d^{1.24} \cdot Z^{0.33}}{(L_s \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3)^{0.6}}, \quad (3.26)$$

где ψ – коэффициент, определяемый графически [1];

f_1, f_2, f_3 – рассчитываются по приведенным ниже формулам;

Pr_y – критерий Прандтля для пара;

L_s – массовая плотность орошения, кг/(м² с);

d – диаметр колонны, м;

Определим все необходимые коэффициенты уравнений. Найдем массовую плотность орошения по формуле:

$$L_s = \frac{L}{0.785 \cdot d^2}. \quad (3.27)$$

Для верхней и нижней частей колонны:

$$L_s^B = \frac{L_B}{0.785 \cdot d^2} = \frac{0.96}{0.785 \cdot 1^2} = 4384.36 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч};$$

$$L_s^H = \frac{L_H}{0.785 \cdot d^2} = \frac{7.67}{0.785 \cdot 1^2} = 35191.14 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч};$$

По графику [1] определим коэффициенты c , Φ , ψ :

$$\Phi^B = 0.055; \quad \psi^B = 170; \quad c^B = 1;$$

$$\Phi^H = 0.25. \quad \psi^H = 210. \quad c^H = 0.8.$$

Далее определяем f_1, f_2, f_3 по формулам (3.8), (3.9), (3.10).

$$f_1 = \mu_x^{0.16}; \quad (3.28)$$

$$f_1^B = \mu_x^{B,0.16} = 0.34^{0.16} = 0.84;$$

$$f_1^H = \mu_x^{H,0.16} = 0.29^{0.16} = 0.82.$$

$$f_2 = \left(\frac{1000}{\rho_x} \right)^{1.25}; \quad (3.29)$$

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|------|
| | | | | | Лист |
| | | | | | 29 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | |

$$f_2^B = \left(\frac{1000}{\rho_x^B} \right)^{1,25} = \left(\frac{1000}{797,07} \right)^{1,25} = 1,33;$$

$$f_2^H = \left(\frac{1000}{\rho_x^H} \right)^{1,25} = \left(\frac{1000}{919,27} \right)^{1,25} = 1,11.$$

$$f_3 = \left(\frac{72,8 \cdot 10^{-3}}{\sigma} \right)^{0,8}; \quad (3.30)$$

$$f_3^B = \left(\frac{72,8 \cdot 10^{-3}}{\sigma^B} \right)^{0,8} = \left(\frac{72,8 \cdot 10^{-3}}{0,0608} \right)^{0,8} = 1,16;$$

$$f_3^H = \left(\frac{72,8 \cdot 10^{-3}}{\sigma^H} \right)^{0,8} = \left(\frac{72,8 \cdot 10^{-3}}{0,0155} \right)^{0,8} = 3,45.$$

Для расчета h_x и h_y определим вязкость паров и коэффициент диффузии в жидкой и паровой фазах.

Вязкость паров для верхней части колонны

$$\mu_{yB} = \frac{M'_B}{\frac{y_B \cdot M_{эТ}}{\mu_{yэТ}} + \frac{(1 - y_B) \cdot M'_B}{\mu_{yB}}}, \quad (3.31)$$

где $\mu_{yэТ}$ и μ_{yB} – вязкость паров этанола и воды при средней температуре верхней части колонны, мПа · с;

y_B – средняя концентрация паров.

$M'_B = 28,69$ кг/кмоль;

$M'_H = 20,26$ кг/кмоль.

$y_B^B = 0,38$ кмоль/кмоль смеси;

$y_B^H = 0,08$ кмоль/кмоль смеси.

Динамические коэффициенты вязкости паров этанола и воды находим из справочника [1]:

При $t_{ср.нy} = 98$ °С :

$$\mu_{C_2H_6O} = 0,000011 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{H_2O} = 0,0000122 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

При $t_{ср.вy} = 93,1$ °С:

$$\mu_{C_2H_6O} = 0,000011 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{H_2O} = 0,0000124 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Тогда находим:

$$\mu_{yB} = \frac{28,69}{\frac{0,38 \cdot 46}{0,000011} + \frac{(1-0,38) \cdot 18}{0,0000124}} = 1,1509 \cdot 10^{-5} \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Аналогично для нижней части колонны: $\mu_{yH} = 1,19888 \cdot 10^{-5} \text{ мПа} \cdot \text{с}.$

Таким образом для верхней части колонны:

$$h_{xв} = 0.258 \cdot \Phi \cdot c \cdot Pr_x^{0.5} \cdot Z^{0.15} = 0.029 \text{ м.}$$

$$h_{yв} = \frac{0.0175 \cdot \psi \cdot Pr_y^{0.5} \cdot d^{1.24} \cdot Z^{0.33}}{(L_s \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3)^{0.6}} = 0.103 \text{ м.}$$

Для нижней части колонны:

$$h_{xн} = 0.03 \text{ м.}$$

$$h_{yн} = 0,185 \text{ м.}$$

Найдем общую высоту единицы переноса для обеих частей колонны:

$$h_{o y в} = 0.059 \text{ м;}$$

$$h_{o y н} = 0.288 \text{ м.}$$

Высота насадки в верхней и нижней частях:

$$H_B = 0.059 \cdot 5.5 = 0.31 \text{ м;}$$

$$H_H = 0.288 \cdot 2.05 = 0.59 \text{ м.}$$

Общая высота насадки:

$$H_O = H_B + H_H = 0.31 + 0.59 = 0.9 \text{ м.}$$

Высота слоя насадки в одной секции $Z = 0.9$ м, общее число секций в колонне составляет 1.

Общую высоту ректификационной колонны определяют по уравнению:

$$H_K = Z \cdot n + (n - 1) \cdot h_p + Z_B + Z_H, \quad (3.32)$$

где Z – высота насадки в одной секции, м;

n – число секций;

h_p – высоту промежутков между секциями примем 1 м;

Z_B и Z_H – высота сепарационного пространства над насадкой и расстояние между днищем колонны и насадкой, м.

Значения Z_B и Z_H выбирают в соответствии с рекомендациями [1]:

при диаметре колонны 0.3 м, $Z_B = 300$ мм, $Z_H = 500$ мм.

Общая высота колонны:

$$H_K = 0.9 \cdot 1 + (1 - 1) \cdot 0 + 0.3 + 0.5 = 1.7 \text{ м.}$$

3.4 Гидравлическое сопротивление насадки

Гидравлическое сопротивление насадки ΔP находят по уравнению:

$$\Delta P = 10^{169U} \cdot \Delta P_C. \quad (3.33)$$

Гидравлическое сопротивление сухой неорошаемой насадки:

$$\Delta P_C = \lambda \cdot \frac{H \cdot \omega^2 \cdot \rho_y}{d_3 \cdot 2 \cdot \varepsilon^2}. \quad (3.34)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 31 |

где λ – коэффициент сопротивления сухой насадки, зависящей от режима движения газа в насадке.

Критерий Рейнольдса для газа в верхней и нижней частях колонны соответственно равен:

$$Re_{yB} = \frac{\omega_B d_{\text{э}} \rho_{yB}}{\varepsilon \cdot \mu_{yB}} = \frac{0.718 \cdot 0.3 \cdot 0.95}{0.785 \cdot 1.15 \cdot 10^{-5}} = 5557;$$

$$Re_{yH} = \frac{\omega_H d_{\text{э}} \rho_{yH}}{\varepsilon \cdot \mu_{yH}} = \frac{0.593 \cdot 0.3 \cdot 0.66}{0.785 \cdot 1.20 \cdot 10^{-5}} = 3767.$$

Режим движения турбулентный.

В случае турбулентного режима, коэффициент сопротивления сухой насадки в виде колец Рашига:

$$\lambda = \frac{16}{Re_y^{0,2}} \quad (3.35)$$

Для верхней и нижней частей колонны соответственно получим

$$\lambda_B = \frac{16}{Re^{0,2}} = \frac{16}{5557^{0,2}} = 2.85;$$

$$\lambda_H = \frac{16}{Re^{0,2}} = \frac{16}{3767^{0,2}} = 3.08.$$

Гидравлическое сопротивление сухой насадки в верхней и нижней частях колонны равно:

$$\Delta P_{CB} = \lambda_B \cdot \frac{H \cdot \omega_B^2 \cdot \rho_{yB}}{d_{\text{э}} \cdot 2 \cdot \varepsilon^2} = 2.85 \cdot \frac{3.60 \cdot 0.718^2 \cdot 0.95}{0.3 \cdot 2 \cdot 0.785^2} = 512 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{CH} = \lambda_H \cdot \frac{H \cdot \omega_H^2 \cdot \rho_{yH}}{d_{\text{э}} \cdot 2 \cdot \varepsilon^2} = 2155 \text{ Па}.$$

Плотность орошения в верхней и нижней частях колонны определим по формулам:

$$U_B = \frac{L_B}{\rho_{x_B} \cdot 0.785 \cdot d^2} = \frac{0.96}{707.3 \cdot 0.785 \cdot 0.3^2} = 0.001 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}};$$

$$U_H = \frac{L_H}{\rho_{x_H} \cdot 0.785 \cdot d^2} = 0.0018 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}.$$

Гидравлическое сопротивление орошаемой насадки в верхней и нижней частях колонны:

$$\Delta P_B = 10^{169U} \cdot \Delta P_C = 10^{169 \cdot 0,0017} \cdot 512 = 1001 \text{ Па};$$

$$\Delta P_H = 10^{169U} \cdot \Delta P_C = 10^{169 \cdot 0,0017} \cdot 2155 = 4265 \text{ Па}.$$

Общее гидравлическое сопротивление орошаемой насадки в колонне:

$$\Delta P = \Delta P_B + \Delta P_H = 1001 + 4265 = 5266 \text{ Па}.$$

3.5 Тепловой расчет

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в дефлегматоре-конденсаторе:

$$Q_D = P \cdot (1 + R) \cdot r_p = 0.17 \cdot (1 + 1.02) \cdot 1110.8 = 1560 \text{ Вт} \quad (3.37)$$

Здесь

$$r_p = \bar{x}_p \cdot r_{\text{эт}} + (1 - \bar{x}_p) \cdot r_{\text{в}} = 0.8 \cdot 821 + (1 - 0.8) \cdot 2270 = 1110.8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (3.38)$$

где $r_{\text{эт}}$ и $r_{\text{в}}$ — удельные теплоты конденсации этанола и воды.

Рассчитаем удельные теплоемкости исходной смеси F, дистиллята P, кубового остатка W. Удельные теплоемкости этанола и воды при разных температурах рассчитаны и переведены по [1]:

$$C_F = C_{\text{эт}} \cdot x_F + C_{\text{в}} \cdot (1 - x_F) = 3897 \cdot 0.09 + 4609 \cdot (1 - 0.09) = 4546 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$C_P = C_{\text{эт}} \cdot x_P + C_{\text{в}} \cdot (1 - x_P) = 4567.1 \cdot 0.61 + 4190 \cdot (1 - 0.61) = 4420.031 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$C_W = C_{\text{эт}} \cdot x_W + C_{\text{в}} \cdot (1 - x_W) = 4655.09 \cdot 0.008 + 4399.5 \cdot (1 - 0.013) = 4401.545 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

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

$$Q_k = Q_D + P \cdot c_p \cdot t_p + W \cdot c_W \cdot t_W - F \cdot c_F \cdot t_F + Q_{\text{пот}}, \quad (3.39)$$
$$Q_k = 651926 \text{ Вт}.$$

Тепловые потери равны 3%.

Расход теплоты в паровом подогревателе исходной смеси:

$$Q = 1.03 \cdot c_F \cdot (t_F - t_{\text{нач}}) = 1.05 \cdot 4546 \cdot (94.3 - 18) = 364171 \text{ Вт} \quad (3.40)$$

где $t_{\text{нач}}$ равна 18 °С.

Тепловые потери приняты в размере 3%.

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в холодильнике дистиллята:

$$Q = P \cdot c_p \cdot (t_p - t_{\text{кон}}) = 0.17 \cdot 4420 \cdot (93.1 - 25) = 51171 \text{ Вт}, \quad (3.40)$$

где $t_{\text{кон}}$ принята равной 25 °С.

Расход теплоты, отдаваемой охлаждающей воде в холодильнике куба:

$$Q = W \cdot c_W \cdot (t_W - t_{\text{кон}}) = 0.57 \cdot 4402 \cdot (98.5 - 25) = 183324 \text{ Вт}. \quad (3.41)$$

Расход греющего пара с параметрами: давление $p_{\text{абс}} = 2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, влажность 5%:

а) в кубе:

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{Q_k}{r_{\text{г.п.}} \cdot \chi} = \frac{651926}{2141 \cdot 10^3 \cdot 0.95} = 0.32 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; \quad (3.42)$$

б) в подогревателе:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 33 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

$$G_{г.п.} = \frac{Qf}{r_{г.п.} \cdot \chi} = \frac{364171}{2141 \cdot 10^3 \cdot 0.95} = 0.18 \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (3.43)$$

Всего: $0.50 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$.

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

а) в дефлегматоре:

$$V_B = \frac{Q_D}{c_B \cdot (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}) \cdot \rho_B} = \frac{1560}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 1.82526 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; \quad (3.44)$$

б) в холодильнике дистиллята:

$$V_D = \frac{Q_p}{c_B \cdot (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}) \cdot \rho_B} = \frac{51171}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0.00061 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; \quad (3.45)$$

в) в холодильнике кубового остатка:

$$V_B = \frac{Q_w}{c_B \cdot (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}) \cdot \rho_B} = \frac{183324}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,0022 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; \quad (3.46)$$

Всего: $10.14 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$.

3.6 Расчет тепловой изоляции

Толщину тепловой изоляции находят из равенства удельных тепловых потоков (формула 3.47):

$$\alpha_B \cdot (t_{\text{ст}2} - t_B) = \left(\frac{\lambda_{\text{и}}}{\delta_{\text{и}}} \right) \cdot (t_{\text{ст}1} - t_{\text{ст}2}), \quad (3.47)$$

где $\alpha_B = 9.3 + 0.3058 \cdot t_{\text{ст}2}$ – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду, Вт/(м² К);

$t_{\text{ст}2}$ – температура изоляции со стороны окружающей среды (температура определена техникой безопасности на предприятиях и равна $40 \text{ }^\circ\text{C}$);

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

t_B – температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$;

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

Рассчитаем толщину тепловой изоляции:

$$\alpha_B = 9.3 + 0.3058 \cdot 40 = 21.532.$$

В качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит (85 % магнезии + 15 % асбеста), имеющей коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{и}} = 0.098 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ [4].

Толщина тепловой изоляции равна:

$$\delta_{\text{и}} = \frac{\lambda_{\text{и}} \cdot (t_{\text{ст}1} - t_{\text{ст}2})}{\alpha_B \cdot (t_{\text{ст}2} - t_B)} = \frac{0.098 \cdot (98.5 - 40)}{21.532 \cdot (40 - 10)} = 0.11 \text{ м}.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 34 |

Здесь t_v для аппаратов, работающих на открытом воздухе примем равным в зимнее время $10\text{ }^\circ\text{C}$ [1].

Принимаем толщину изоляции 10 см.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 35 |

4 Выбор конструкционного материала

Проанализировав литературные источники и рекомендации [4,5], можно сделать следующие выводы:

- Элементы аппарата, непосредственно контактирующие со средой следует выполнять по рекомендации [4] из стали 03X18H11, которая способна обеспечить высокую коррозионную стойкость и высокие прочностные характеристики.
- Крепёжные изделия (болты, шайбы, гайки) следует выполнять коррозионно стойкой стали. Данные изделия не контактируют со средой колонны, однако т.к. аппарата располагается в здании возможно попадание электролита между крепежными изделиями и элементами аппарата с последующей их коррозией, поэтому необходимо выбрать сталь схожую по коррозионной активности со сталью элементов аппарата. По рекомендации [4] принимаем сталь 20X13.
- В качестве материала для прокладок по рекомендации [4] принимаем паронит. Данный материал является химически стойким, а также широко распространен, что делает его дешевле аналогов.

4.1 Определение расчетных параметров

Разрабатываемая ректификационная колонна служит для разделения бинарной смеси вода - этанол при избыточном давлении равном рабочему $P_{\text{раб}} = 0$ МПа, максимальная температура в колонне составляет $t_c = 101$ °С, следовательно, все параметры будут определены при расчетной температуре равной [5]:

$$t_p := \max(20, t_c) = 25 \text{ °С} \quad (4.1)$$

Принимаем расчетную температуру равной 101°С.

Допускаемое напряжение для стали 03X18H11 при температуре 25°С определяется по таблице А.3 [8]:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad \sigma_d := \begin{pmatrix} 133 \\ 125 \end{pmatrix}$$
$$\sigma_d := \text{Ceil}(\text{linterp}(t, \sigma_d, t_p), 0.5) = 133 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести при 20°С для стали 03X18H11 определим по таблице Б.7 [8]: $R_{p1.0} = 240$ МПа.

Допускаемое напряжение для стали 03X18H11 при 20°С определяется по таблице А.3 [8]: $\sigma_{20} = 160$ МПа.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 36 |

Модуль продольной упругости для стали 03X18H11 при рабочей температуре определяется по таблице Ж1 [8] $E = 2.15 \cdot 10^5$ МПа.

Модуль продольной упругости для стали 03X18H11 при 20°C определяется по таблице Ж1 [8] $E_{20} = 2.15 \cdot 10^5$ МПа.

Так как обечайка аппарата изготавливаются из труб стальных бесшовных горячедеформированные, то коэффициент прочности сварных швов по [8] принимаем равным $\varphi = 1$.

По рекомендации [8]: при вертикальном расположении аппарата расчетное давление принимается равным рабочему с учетом гидростатического столба жидкости. Т.к. при работе колонны в ней находится бинарная смесь жидкости с переменным составом по высоте аппарата, то для определения гидростатического давления целесообразно считать на жидкость с самой большой плотностью. Высота куба колонны равна $h_k = 500$ мм.

Плотность воды равна $\rho_v = 1000$ кг/м³.

Высоту слоя жидкости в кубе принимаем равным высоте куба:

$$H_{\text{куб}} := h_k = 500 \text{ мм}$$

Расчетное давление равно:

$$P := P_{\text{раб}} + \frac{9.81 \cdot H_{\text{куб}} \cdot \rho_v}{10^9} = 0.005 \text{ МПа} \quad (4.2)$$

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

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

$$H_{\text{гидр}} := H_k = 1700 \text{ мм}$$

Давление гидростатического столба жидкости при гидроиспытаний равно:

$$P_{\text{гидр}} := \frac{9.81 \cdot H_{\text{гидр}} \cdot \rho_v}{10^9} = 0.017 \text{ МПа} \quad (4.3)$$

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

$$P_{\text{и}} := 1.25 \cdot P_{\text{раб}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d} + P_{\text{гидр}} = 0.017 \text{ МПа} \quad (4.4)$$

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 37 |

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

Допускаемое напряжение для стали 03X18H11 при температуре гидравлического испытания 20°C определяется по формуле 5 [8]:

$$\sigma_{\text{н}} := \text{Ceil}\left(\frac{R_{p1.0}}{1.1}, 0.5\right) = 218.5 \text{ МПа} \quad (4.5)$$

4.2 Определение прибавок на различные виды разрушений

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют согласно [5, 8] по формуле 13:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 \quad (4.6)$$

где c_1 - прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

c_2 - прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

c_3 - прибавка для компенсации утонения стенки при технологических операциях, мм.

Определим прибавки к расчетной толщине стенки:

- прибавка для компенсации коррозии:

Примем срок службы аппарата $\tau = 30$ лет.

Скорость коррозии для стали 03X18H11 по [4] равна $K = 0.1$ мм/год.

$$c_1 := \tau \cdot K = 3 \text{ мм} \quad (4.7)$$

- прибавку для компенсации минусового допуска примем в соответствии с таблицей 3 [9] $c_2 = 1.2$ мм.

- поскольку обечайка аппарата выполнена из трубы, то в соответствии с рекомендацией [9] прибавку для компенсации утонения стенки при технологических операциях примем: $c_3 = 0$ мм.

Суммарная прибавка к расчетным толщинам равна:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 4.2 \text{ мм}$$

4.3 Выводы по выбору конструкционных материалов

1. Материалом для изготовления составляющих ректификационной колонны является сталь 03X18H11.

2. Обечайка колонны будет изготавливаться из трубы.

3. Материалом для изготовления крепежных изделий принимается сталь 20X13.

4. Материалом для изготовления прокладок принимается паронит.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 38 |

5 Механический расчет ректификационной колонны

Главной целью механического расчета ректификационной колонны является определение конструктивных размеров различных элементов аппарата. Проводится проверка их надежности в рабочих условиях и в условиях испытаний. Данные критерии разнятся от элемента к элементу, поэтому будут предварительно описаны в каждом подпункте данного раздела.

Исходя из технологического расчета, произведенного в программном продукте UniSim Design диаметр ректификационной колонны равен 300 мм, исходя из стандартного ряда диаметров сортамента [9] принимаем наружный диаметр колонны равным $D_{нар} = 325$ мм; высота колонны равна $H_k = 1700$ мм. Проектируемая колонна находится в здании, ввиду своих малых размеров.

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

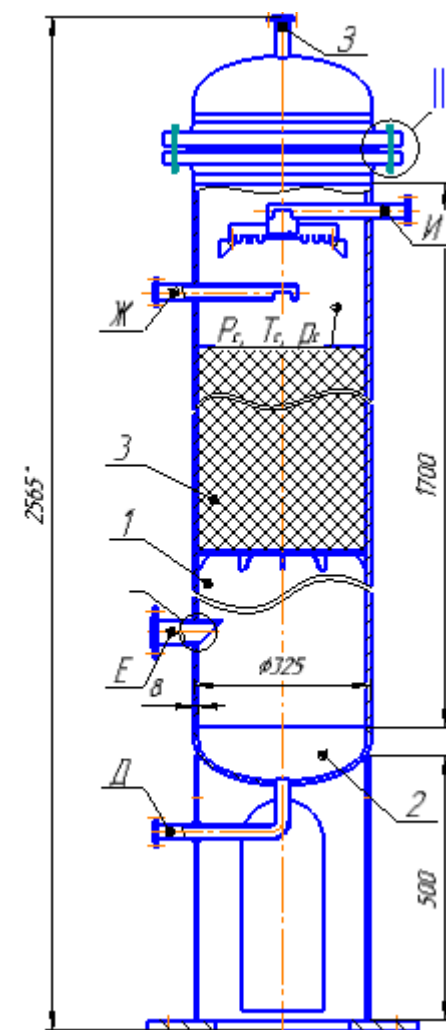


Рисунок 5.1 – Расчетная схема насадочной ректификационной колонны

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

ФЮРА.КР.000000 ПЗ

Лист

39

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

Таблица 5.1 – Обозначения основных элементов и узлов колонны

| Номер позиции | Название элемента | Количество |
|---------------|------------------------------|------------|
| 1 | Цилиндрическая обечайка | 1 |
| 2 | Эллиптическое днище (крышка) | 2 |
| 3 | Колосниковая решетка | 1 |
| I | Укрепление отверстия | - |
| II | Фланцевое соединение | - |

Данные о штуцера представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Таблица штуцеров

| Обозначение | Наименование | Условный диаметр, мм | Условное давление, МПа |
|-------------|--------------------------|----------------------|------------------------|
| Д | Вывод кубового остатка | 25 | 0.25 |
| Е | Ввод паров кубовой смеси | 40 | 0.25 |
| Ж | Ввод исходной смеси | 25 | 0.25 |
| З | Вывод паров дистиллята | 25 | 0.25 |
| И | Ввод флегмы | 25 | 0.25 |

5.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки колонны

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

Критерием надежности для рабочих условий является выполнение следующего условия:

$$P \leq P_d$$

где P – расчетное значение внутреннего избыточного давления при рабочих условиях, МПа;

P_d – допускаемое значение внутреннего избыточного давления при рабочих условиях, МПа

[5, 10].

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| | | | | | | 40 |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | |

$$F \leq F_d$$

где F – расчетное значение осевого сжимающего усилия при рабочих условиях, МН; F_d – допускаемое значение осевого сжимающего усилия при рабочих условиях, МН [5, 10].

Критерием надежности для условий испытания является выполнение условия:

$$P_{и} \leq P_{ди}$$

где $P_{и}$ – расчетное значение внутреннего избыточного давления при гидроиспытаниях, МПа; $P_{ди}$ – допускаемое значение внутреннего избыточного давления при гидроиспытаниях, МПа [5, 10].

$$F_{и} \leq F_{ди}$$

где $F_{и}$ – расчетное значение осевого сжимающего усилия при гидроиспытаниях, МН; $F_{ди}$ – допускаемое значение осевого сжимающего усилия при гидроиспытаниях, МН [5, 10].

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

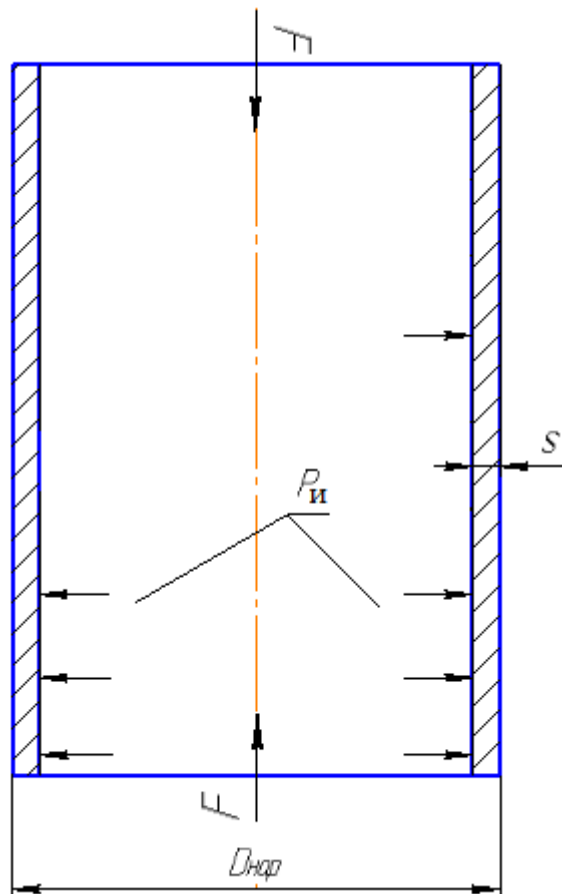


Рисунок 5.2 - Расчетная схема цилиндрической обечайки

Исходные данные для расчета толщины цилиндрической обечайки представлены в таблице 5.3:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------|------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | Лист |
| | | | | | | 41 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Таблица 5.3 – Исходные данные для расчета

| Название величины | Введенное обозначение и его значение |
|--|--------------------------------------|
| Наружный диаметр обечайки, мм | $D_{нар} = 325$ |
| Прибавка к расчетным толщинам, мм | $c = 4.2$ |
| Расчетное внутреннее избыточное давление, МПа | $P = 0.005$ |
| Давление гидроиспытания, МПа | $P_{и} = 0.017$ |
| Коэффициент прочности сварных швов | $\varphi = 1$ |
| Допускаемое напряжение при рабочих условиях, МПа | $\sigma_{д} = 133$ |
| Допускаемое напряжение при гидроиспытаниях, МПа | $\sigma_{и} = 160$ |

5.1.1 Определение исполнительной толщины обечайки колонны

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

$$s \geq s_p + c \quad (5.1)$$

где s – исполнительная толщина стенки, мм;

s_p – расчетная толщина стенки, мм;

c – прибавка к расчетным толщинам, мм.

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

$$s_p = \max \left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \varphi - P}, \frac{P_{и} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi - P_{и}} \right) \quad (5.2)$$

где $P, P_{и}$ - расчетное давление и пробное давление гидроиспытания соответственно, МПа;

D - внутренний диаметр обечайки, мм;

$\sigma_{д}, \sigma_{и}$ - допускаемые напряжения материала при рабочих условиях и условий гидроиспытания соответственно, МПа;

φ - коэффициент прочности сварных швов.

Так как в формуле присутствует внутренний диаметр обечайки, то преобразуем её для расчета толщины стенки от наружного диаметра обечайки:

$$s_p := \max \left(\frac{P \cdot D_{нар}}{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \varphi + P}, \frac{P_{и} \cdot D_{нар}}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi + P_{и}} \right) = 0.012 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок составляет:

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| | | | | | | 42 |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | |

$$s_{\text{mm}} := \text{ceil}(s_p + c) = 5 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки обечайки по сортаменту [9] равной $s = 8 \text{ мм}$.

Определим внутренний диаметр цилиндрической обечайки:

$$D := D_{\text{нар}} - 2 \cdot s = 309 \text{ мм} \quad (5.3)$$

5.1.2 Проверка условия применимости расчетных формул

Ввиду того, что расчет представленный в [10] основывается на безмоментной теории, то полученное значение толщины стенки следует проверить на применимость формул безмоментной теории.

Проверяем применимость формул безмоментной теории по [10]:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условие применимости выполняется"} & \text{if } \frac{s - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применимости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Пров}_1 = \text{"Условие применимости выполняется"} \quad \frac{s - c}{D} = 0.012$

5.1.3 Проверка условий прочности цилиндрической обечайки

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

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

$$P_d := 2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi \cdot \frac{(s - c)}{[D + (s - c)]} = 3.231 \text{ МПа} \quad (5.4)$$

Аналогично рассчитывается допускаемое давление для гидроиспытаний:

$$P_{\text{дн}} := 2 \cdot \sigma_{\text{н}} \cdot \varphi \cdot \frac{(s - c)}{[D + (s - c)]} = 5.309 \text{ МПа} \quad (5.5)$$

Проверка условия прочности при рабочих условиях:

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

$\text{Пров}_2 = \text{"Условие прочности выполняется"} \quad \frac{P}{P_d} = 1.518 \times 10^{-3}$

Проверка условия прочности при условиях гидроиспытания:

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

$$\text{Пров}_3 = \text{"Условие прочности выполняется"} \quad \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{дн}}} = 3.141 \times 10^{-3}$$

5.1.4 Проверка условий устойчивости цилиндрической обечайки

Допускаемое сжимающее усилие определяется по формуле 14 [10]:

$$F_{\text{д}} = \frac{F_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{Е}}}\right)^2}} \quad (5.6)$$

При рабочих условиях:

$$n_y = 2.4$$

$F_{\text{п}}$ - допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности, которое вычисляется по формуле 15 [10]:

$$F_{\text{п}} := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot \varphi \cdot 10^{-6} = 0.497 \text{ МН} \quad (5.7)$$

$F_{\text{Е}}$ - определяется по формулам 16-18 [10]:

$$F_{\text{Е}} = \min(F_{\text{Е1}}, F_{\text{Е2}})$$

$F_{\text{Е1}}$ - допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости определяющееся по формуле 16 [10]:

$$F_{\text{Е1}} := \frac{(31 \cdot 10^{-5} \cdot E) \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s - c)}{D}\right]^{2.5} \cdot 10^{-6}}{n_y} = 4.447 \text{ МН} \quad (5.8)$$

$F_{\text{Е2}}$ - допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости определяется по формуле 18 [10]:

$$F_{\text{Е2}} := \frac{\pi}{n_y} \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E \cdot \left(\frac{\pi}{2.83 \cdot \frac{2 \cdot H_{\text{к}}}{D + s - c}}\right)^2 \cdot 10^{-6} = 3.489 \text{ МН} \quad (5.9)$$

Тогда $F_{\text{Е}}$ равно:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 44 |

$$F_E := \min(F_{E1}, F_{E2}) = 3.489 \text{ МН}$$

Допускаемое сжимающее усилие при рабочих условиях равно:

$$F_d := \frac{F_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_n}{F_E}\right)^2}} = 0.492 \text{ МПа} \quad (5.10)$$

Расчетное значение сжимающего определяется по следующей формуле:

$$F = 1.3(m_{об} + m_k + m_n) \cdot g \quad (5.11)$$

Масса обечайки равна:

Масса обечайки рассчитывается по формуле:

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

$\rho_{об}$ - плотность материала обечайки (сталь 03X18H11)

$$\rho_{об} := 7850 \text{ кг/м}^3$$

Объем материала обечайки вычисляется по формуле:

$$V_{об} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D^2) \cdot H_k \quad \text{где } D_{нар}, D_{вн} - \text{наружный и внутренний диаметр обечайки соответственно, мм:}$$

H_k - высота обечайки,

$$m_{об} := \rho_{об} \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D^2) \cdot H_k \right] \cdot 10^{-9} = 106.321 \text{ кг} \quad (5.12)$$

Масса крышки:

Согласно таблицы 16.3 [2] масса днища 325x8-25-03X18H11 равна $m_k = 8,3$ кг.

Общая масса насадки равна:

Из технологического расчета примем:

$$Z = 900 \text{ мм}; n = 1; \rho_n = 904 \text{ кг/м}^3 [19].$$

$$m_n := \rho_n \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D^2) \cdot Z \cdot n \right] \cdot 10^{-9} = 6.482 \text{ кг} \quad (5.13)$$

Расчетное значение сжимающего усилия равно:

$$F_{\text{расч}} := 1.3(m_{об} + m_k + m_n) \cdot g \cdot 10^{-6} = 1.544 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (5.14)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 45 |

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

$$\text{Пров}_3 = \text{"Условие устойчивости выполняется"} \quad \frac{F}{F_d} = 0.003$$

При условиях гидроиспытаний:

$$n_y = 1.8$$

где $F_{\text{пн}}$ - допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности вычисляется по формуле 15 [10]:

$$F_{\text{пн}} := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\text{н}} \cdot \varphi \cdot 10^{-6} = 0.816 \text{ МН} \quad (5.15)$$

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

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

$F_{\text{Е1и}}$ - допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости определяющееся по формуле 16 [10]:

$$F_{\text{Е1и}} := \frac{(31 \cdot 10^{-5} \cdot E) \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s - c)}{D}\right]^{2.5} \cdot 10^{-6}}{n_y} = 5.929 \text{ МН} \quad (5.16)$$

$F_{\text{Е2и}}$ - допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости определяется по формуле 18 [10]:

$$F_{\text{Е2и}} := \frac{\pi}{n_y} \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E \cdot \left(\frac{\pi}{2.83 \cdot \frac{2 \cdot H_k}{D + s - c}} \right)^2 \cdot 10^{-6} = 4.652 \text{ МН} \quad (5.17)$$

Тогда $F_{\text{Еи}}$ равно:

$$F_{\text{Еи}} := \min(F_{\text{Е1и}}, F_{\text{Е2и}}) = 4.652 \text{ МН}$$

Допускаемое сжимающее усилие при рабочих условиях равно:

$$F_{\text{дн}} := \frac{F_{\text{пн}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\text{пн}}}{F_{\text{Еи}}}\right)^2}} = 0.804 \text{ МПа} \quad (5.18)$$

Расчетное значение сжимающего усилия определяется по следующей формуле:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 46 |

$$F_{И} = [1.3(m_{об} + m_{к} + m_{н}) + m_{вод}] \cdot g \quad (5.19)$$

Масса обечайки равна $m_{об} = 106.321$ кг.

Масса крышки:

Согласно таблицы 16.3 [2] масса днища 325x8-25-03X18H11 равна $m_{к} = 8,3$ кг.

Общая масса насадки равна $m_{н} = 6.482$ кг.

Рассчитаем также массу воды в обечайке аппарата:

$$m_{вод} := \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_{к} \cdot \rho_{в} \cdot 10^{-9} = 127.484 \text{ кг} \quad (5.20)$$

Расчетное значение сжимающего усилия равно:

$$F_{И} := [1.3(m_{об} + m_{к} + m_{н}) + m_{вод}] \cdot g \cdot 10^{-6} = 2.795 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (5.21)$$

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

Пров₃ = "Условие прочности выполняется" $\frac{F_{И}}{F_{дн}} = 0.003$

Исходя из представленных выше расчетов видно, что существует большой запас по прочности и экономически целесообразно уменьшить толщину стенки. Однако это сделать невозможно ввиду того, что минимальная толщина трубы диаметром равным 325 мм равна 8 мм. Индивидуальное изготовление трубы меньшим диаметром можешь повлечь за собой существенные экономические затраты, которые превысят экономические затраты при использовании трубы с толщиной стенки 8 мм.

5.2 Расчет толщины эллиптической крышки (днища)

Целью данного расчета является определение толщин стенок крышки и днища колонны. Т.к. на днище будет приходиться большая нагрузка, чем на крышку, поэтому следует рассчитать толщину стенки днища. К критериям надежности относятся:

- условие прочности при рабочих условиях;
- условие прочности при гидроиспытаниях;

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

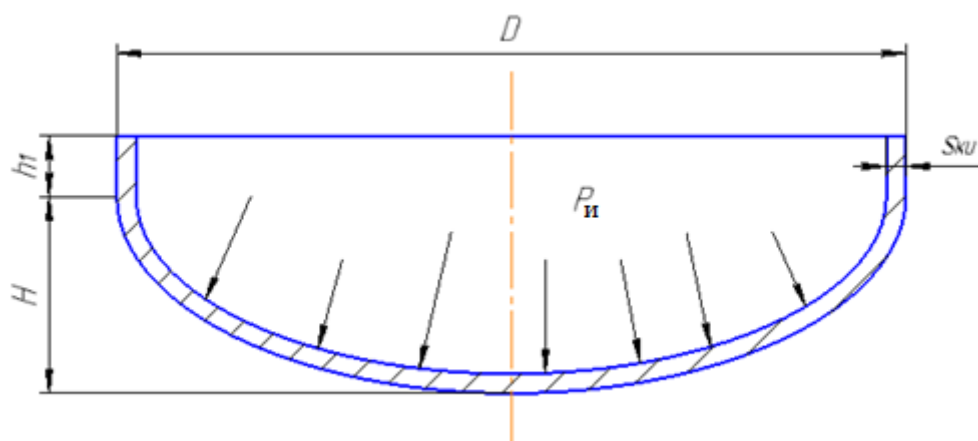


Рисунок 5.3 – Расчетная схема эллиптического днища

Исходные данные для расчета толщины эллиптического днища представлены в таблице 5.4:

Таблица 5.4 – Исходные данные для расчета

| Название величины | Введенное обозначение и его значение |
|--|--------------------------------------|
| Внутренний диаметр днища (крышки), мм | $D = 309$ |
| Прибавка к расчетным толщинам, мм | $c = 4.2$ |
| Расчетное внутреннее избыточное давление, МПа | $P = 0.005$ |
| Давление гидроиспытания, МПа | $P_{\text{н}} = 0.017$ |
| Допускаемое напряжение при рабочих условиях, МПа | $\sigma_{\text{д}} = 133$ |
| Допускаемое напряжение при гидроиспытаниях, МПа | $\sigma_{\text{н}} = 160$ |

5.2.1 Определение толщины эллиптического днища

Определим радиус кривизны в вершине крышки по [10], он равен $R = D = 309$ мм т.к. $H = 0.25D$.

Поскольку днище эллиптическое, то высота выпуклой части без учета цилиндрической части будет равна:

$$H := 0.25 \cdot D = 77.25 \text{ мм} \quad (5.22)$$

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

$$s_{к.р} := \max\left(\frac{R \cdot P}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_d - 0.5 \cdot P}, \frac{R \cdot P_{и}}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{и} - 0.5 \cdot P_{и}}\right) = 0.012 \text{ мм} \quad (5.23)$$

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

$$s_{к.и} := s_{к.р} + c = 4.212 \text{ мм} \quad (5.24)$$

Исходя из сортамента [2] принимаем толщину крышки равной $s_{к.и} = 8$ мм.

Проверка на условие применимости формул:

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.2 \leq \frac{H}{D} \leq 0.5 \\ \text{"Условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1 = "Условие применения формул выполняется"

$$Us2 := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_{к.и} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us2 = "Условие применения формул выполняется"

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

Для рабочих условий:

$$P_{д.к} := \frac{2 \cdot (s_{к.и} - c) \cdot \sigma_d \cdot \varphi}{R + 0.5 \cdot (s_{к.и} - c)} = 3.251 \text{ МПа} \quad (5.25)$$

Для гидроиспытания:

$$P_{и.к} := \frac{2 \cdot (s_{к.и} - c) \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi}{R + 0.5 \cdot (s_{к.и} - c)} = 5.341 \text{ МПа} \quad (5.26)$$

Проверка условия прочности при рабочих условиях:

$$Пров_1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{P}{P_{д.к}} \leq 1 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₁ = "Условие прочности выполняется" $\frac{P}{P_{д.к}} = 1.509 \times 10^{-3}$

Проверка условия прочности при условиях гидроиспытания:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 49 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

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

$$\text{Пров}_3 = \text{"Условие прочности выполняется"} \quad \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{и.к}}} = 3.122 \times 10^{-3}$$

Условия прочности и применимости формул выполняются, следовательно, окончательно принимаем толщину стенки эллиптического днища равной 8 мм. Днище и крышка будут изготавливаться штамповкой.

5.3 Расчет штуцеров и подбор фланцев

Согласно рекомендациям [6] примем скорость движения жидкости в патрубке равной $\omega_1 = 0.05$ м/с, а скорость движения газа равной $\omega_2 = 0.05$ м/с.

Расчет штуцера заключается в определении диаметра патрубка по формуле 1 [7]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot \omega_1 \cdot 3600}} \quad \begin{array}{l} \text{где } V_c - \text{объемный расход загружаемого сырья, м}^3/\text{ч;} \\ \omega_1 - \text{линейная скорость потока в патрубке штуцера, м/с.} \end{array} \quad (5.27)$$

После расчета по полученному значению d и рекомендации [7] подбираем стандартный штуцер.

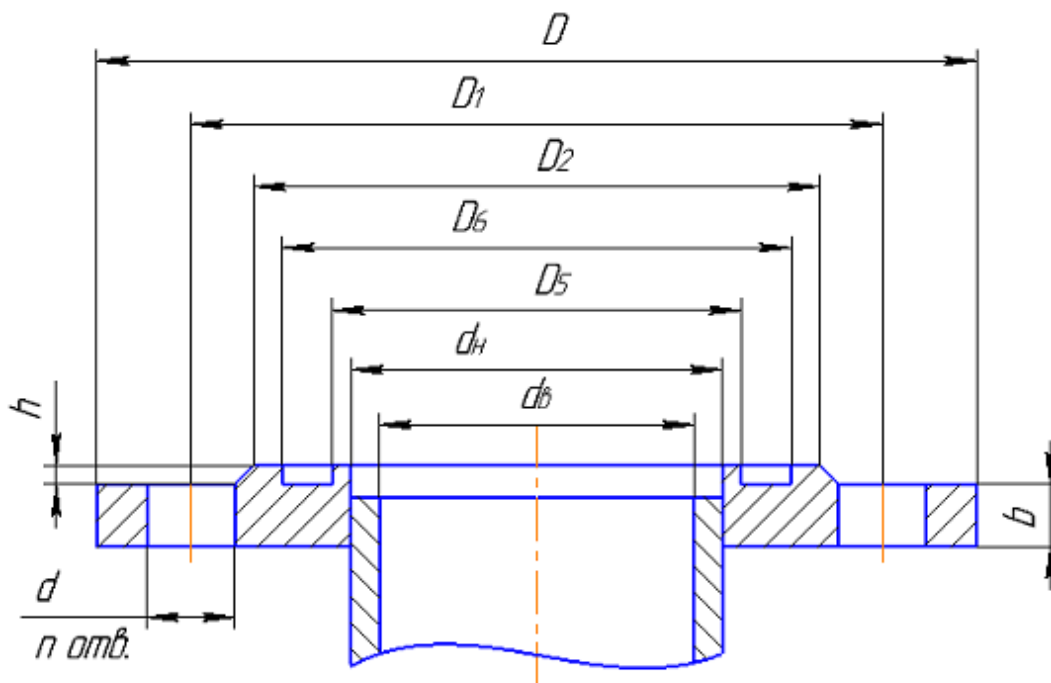


Рисунок 5.4 - Расчетная схема штуцера

Штуцера для ввода исходной смеси

Объемный расход исходной смеси равен $V_F = 0.052 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Определим диаметр штуцера для ввода исходной смеси:

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot V_F}{\pi \cdot \omega_1 \cdot 3600}} = 0.019 \text{ м}$$

Примем штуцер по [3] с условно проходом равным $d_F = 25 \text{ мм}$.

Штуцера для ввода флегмы

Объемный расход флегмы равен $V_p = 0.024 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Определим диаметр штуцера для ввода исходной смеси:

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot \omega_1 \cdot 3600}} = 0.013 \text{ м}$$

Примем штуцер по [3] с условно проходом равным $d_p = 25 \text{ мм}$.

Штуцера для отвода кубового остатка

Объемный расход кубового остатка равен $V_w = 0.060 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Определим диаметр штуцера для ввода исходной смеси:

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot V_w}{\pi \cdot \omega_1 \cdot 3600}} = 0.021 \text{ м}$$

Примем штуцер по [3] с условно проходом равным $d_w = 25 \text{ мм}$.

Штуцера для отвода паров дистиллята

Объемный расход дистиллята равен $V_{пд} = 0.036 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Определим диаметр штуцера для ввода исходной смеси:

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{пд}}{\pi \cdot \omega_2 \cdot 3600}} = 0.016 \text{ м}$$

Примем штуцер по [3] с условно проходом равным $d_{пд} = 25 \text{ мм}$.

Основные размеры штуцера с $D_y = 25 \text{ мм}$ приведены в таблице ниже

| $D_y, \text{мм}$ | $d_n, \text{мм}$ | $D, \text{мм}$ | $D_1, \text{мм}$ | $b, \text{мм}$ | $D_2, \text{мм}$ | $h, \text{мм}$ | $d, \text{мм}$ | $n, \text{мм}$ | $k, \text{мм}$ | Номинальный диаметр резьбы болтов |
|------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------------|
| 25 | 32 | 100 | 75 | 10 | 60 | 2 | 12 | 4 | 4 | 10 |

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

Штуцера для ввода паров кубовой смеси

Объемный расход дистиллята равен $V_{пк} = 0.1886 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Определим диаметр штуцера для ввода исходной смеси:

$$d_{шт} := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{пк}}{\pi \cdot \omega_2 \cdot 3600}} = 0.037 \text{ м}$$

Примем штуцер по ГОСТ [3] с условно проходом равным $d_{пк} = 40 \text{ мм}$.

| $D_y, \text{мм}$ | $d_n, \text{мм}$ | $D, \text{мм}$ | $D_1, \text{мм}$ | $b, \text{мм}$ | $D_2, \text{мм}$ | $h, \text{мм}$ | $d, \text{мм}$ | $n, \text{мм}$ | $k, \text{мм}$ | Номинальный диаметр резьбы болтов |
|------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------------|
| 40 | 45 | 130 | 100 | 10 | 80 | 3 | 14 | 4 | 4 | 12 |

5.3.1 Расчет необходимости укрепления отверстий

Расчет укрепления отверстий проводится в соответствии с требованиями [16]. В конструкцию аппарата входят 5 основных технологических штуцера. В данном пункте будет производиться проверка необходимости укрепления отверстия для наибольшего штуцера.

На рисунке 5.5 представлена расчетная схема укрепления отверстия, позиция I на рисунке 5.1.

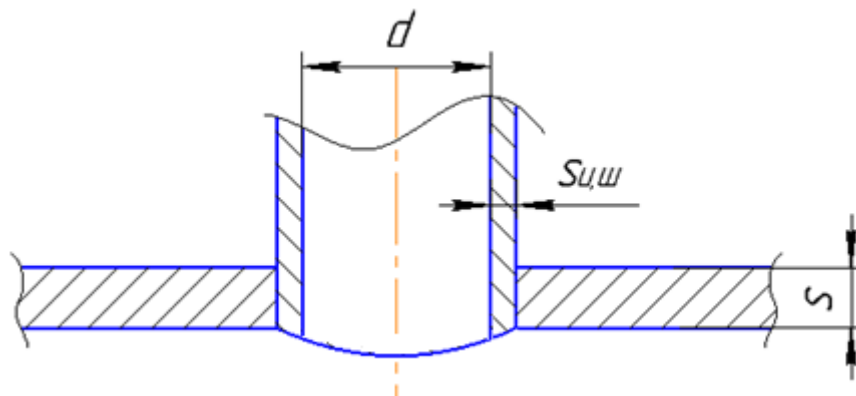


Рисунок 5.5 - Схема укрепления отверстия

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.5:

Таблица 5.5 – Исходные данные для расчета

| Название величины | Введенное обозначение и его значение |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Внутренний диаметр аппарата, мм | $D = 309$ |
| Марка стали 12X18Н10Т | |

Продолжение таблицы 5.5

| | |
|--|------------------|
| Давление гидроиспытаний, МПа | $P_H = 0.017$ |
| Исполнительна толщина стенки обечайки, мм | $s = 8$ |
| Прибавка к расчетной толщине стенки, мм | $c = 4.2$ |
| Допускаемое напряжение при температуре 25°C, МПа | $\sigma_d = 133$ |
| Коэффициент прочности сварных швов | $\varphi = 1$ |
| Внутренний диаметр штуцера, мм | $d = 40$ |

Основной целью данного расчета является определение максимального диаметра неукрепленного отверстия и сравнение его с расчетным диаметром отверстия, если расчетное значение диаметра превышает предельный диаметр, то данное отверстия подлежит укреплению в целях компенсации возникающих напряжений в зоне отверстия.

Расчетный диаметр отверстия вычисляется по формуле 12 [16]:

$$d_p := d + 2 \cdot c = 48.4 \text{ мм} \quad (5.28)$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{s - c}{D} > 0.1 \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_1 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по 16 [16]:

$$s_{p.шт} := \frac{P_H \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_d - P_H} = 3.035 \times 10^{-3} \text{ мм} \quad (5.29)$$

Исполнительная толщина стенки штуцера равна:

$$s_{и.шт} := s_{p.шт} + c = 4.203 \text{ мм} \quad (5.30)$$

Исполнительную толщину стенки штуцера принимаем равной $s_{и.шт} = 4.5$ мм по [9].

По [16] d_{max} принимаем равным $d_{max} = D = 309$ мм.

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки определяется по формуле 26 [16]:

$$d_0 := \min \left[2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)}, d_{\max} + 2 \cdot c \right] = 317.4 \text{ мм} \quad (5.31)$$

Проверка условий расчета укреплений отверстий:

$$Us1_2 := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_0 \geq d_p \\ \text{"Требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1_2 = "НЕ требуется укрепление отверстий"

Вывод по расчету:

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

5.4 Расчет фланцевого соединения корпуса с крышкой

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

- наружный диаметр обечайки - 325 мм;
- давление внутри аппарата при гидроиспытаниях - 0.017 МПа;
- расчетная температура - 101 °С;
- токсичность и опасность теплоносителей.

Т.к. рассчитываемая ректификационная колонная проектируется для ректификации бинарной смеси спирта и воды, а все спирты являются горючими и взрывоопасными веществами, а также при высокой их концентрации обладают токсичным эффектом, то исходя из рекомендаций [5, 6, 12] следует выбрать фланцевое соединение по привалочной поверхности, отвечающее требованиям пожаро-, взрывоопасности.

Исходя из всего вышеизложенного были подобраны фланцы плоские стальные приварные с уплотнительной поверхностью типа шип-паз со следующими основными геометрическими размерами:

Материалы для болтов, прокладок и фланце выбираем, основываясь на пункте 3.

На рисунке 5.6 представлена расчетная схема фланцевого соединения плоской крышки с обечайкой, позиция II на рисунке 5.1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 54 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

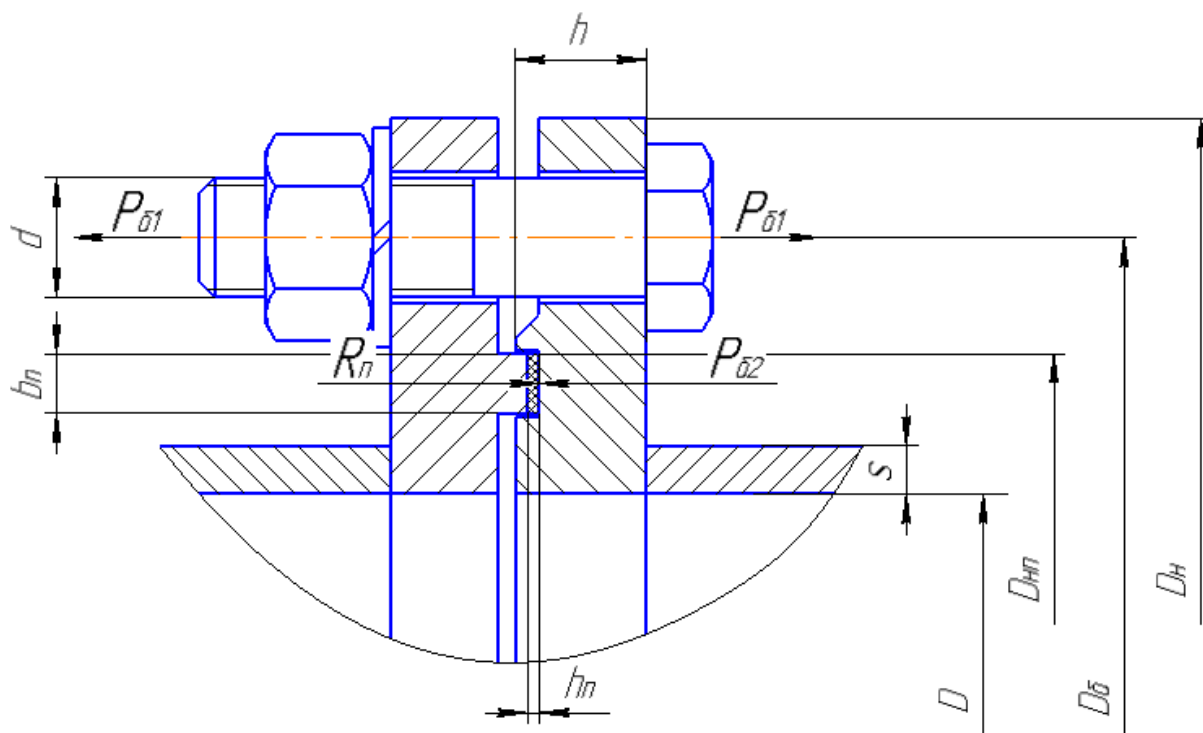


Рисунок 5.6 - Расчетная схема фланцевого соединения плоской крышки с обечайкой

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.6:

Таблица 5.6 – Исходные данные для расчета

| Название величины | Введенное обозначение и его значение |
|---|--------------------------------------|
| Внутренний диаметр обечайки, мм | $D = 309$ |
| Пробное давление гидроиспытания в аппарате, МПа | $P_{\text{и}} = 0.017$ |
| Число болтов | $n = 12$ |
| Прибавка на коррозию, мм | $c_1 = 3$ |
| Максимальная температура среды, °С | $t = 101$ |
| Диаметр болтовой окружности, мм | $D_{\delta} = 395$ |
| Наружный диаметр прокладки, мм | $D_{\text{вн}} = 356$ |
| Наружный диаметр фланца, мм | $D_n = 435$ |
| Ширина прокладки [14], мм | $b_n = 10$ |
| Высота прокладки [14], мм | $h_n = 2$ |
| Толщина тарелки фланца, мм | $h = 22$ |

Целью расчета в данном подразделе является проверка надежности конструкции

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

ФЮРА.КР.000000 ПЗ

Лист

55

выбранного фланцевого соединения. К критериям надежности относятся:

- прочность болтов при затяжке и в рабочих условиях;
- статическая прочность соединения в рабочих условиях и при затяжке;
- прочность прокладки;
- соответствия угла поворота фланца допускаемому значению.

5.4.1 Определение основных расчетных значений

Определение расчетных температур:

- расчетная температура неизолированных плоских фланцев по таблице В.1 [13] равна:

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t = 96.96 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (5.32)$$

- расчетная температура шпилек по таблице В.1 [13] равна:

$$t_{\delta} := 0.85 \cdot t = 85.85 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (5.33)$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 20Х13 определяем по таблице Г.1 [13]:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 182 \\ 165 \end{pmatrix}$$
$$\sigma_{\text{д},\delta} := \text{linterp}(t, \sigma, t_{\delta}) = 184.40 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов из стали 20Х13 при расчетной температуре определяем по таблице Ж.1 [13]:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad E_{\delta} := \begin{pmatrix} 2.22 \cdot 10^5 \\ 2.13 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$
$$E_{\delta} := \text{linterp}(t, E_{\delta}, t_{\delta}) = 2.233 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для болтов при $t = 20^{\circ}\text{C}$ определяем по таблице Г.1 [13]:
 $\sigma_{20\delta} = 195 \text{ МПа}$.

Модуль упругости для болтов при температуре равной 20°C определяем по таблице Ж.1 [13]: $E_{20\delta} = 2.28 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Коэффициент линейного расширения стали 20Х13 при $t = 20\text{-}200^{\circ}\text{C}$ определяем по таблице Ж.2 [13]: $\alpha_{\delta} = 10.9 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$.

Допускаемые напряжения для фланцев и обечайки из стали 03Х18Н11 принимаем равным $\sigma_{\text{д}}$: $\sigma = \sigma_{\text{д}} = 133 \text{ МПа}$.

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 56 |

$$\sigma_{д.ф} := \eta \cdot \sigma = 133 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 03X18H11 при расчетной температуре определяем по таблице В.1 [8]: $E = 1.98 \cdot 10^5$ МПа.

Допускаемое напряжение для стали 03X18H11 при $t = 20^\circ\text{C}$ принимаем равным σ_{20} :

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 160 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 03X18H11 при температуре испытания 20°C определяем по таблице В.1 [8]:

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

Коэффициент линейного расширения стали 03X18H11 при $t = 20 - 200^\circ\text{C}$ определяем по таблице Ж.2 [13]: $\alpha_{ф} = 11.4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Примем коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке по рекомендациям [13] равным $\zeta = 1.2$.

Коэффициент условий работы примем по рекомендациям [13]:

- для рабочих условий $K_{у.р.} = 1$;
- для условий испытания $K_{у.р.и} = 1.35$.

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке принимаем по рекомендациям [13] равным $K_{у.з} = 1$.

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций принимается по рекомендациям [13] равным $K_{у.т} = 1.3$.

Допускаемые напряжения для болтов из стали 40 при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам Г3 и Г4 [13] и равны соответственно:

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

$$\sigma_{дбр} := \xi \cdot K_{у.р.и} \cdot K_{у.з} \cdot K_{у.т} \cdot \sigma_{206} = 410.67 \text{ МПа}$$

(5.34 а,б)

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

Эффективная ширина плоской прокладки определяется по формуле 5 [13]:

$$b_0 := 3.8 \cdot \sqrt{b_{п}} = 12.017 \text{ мм}$$

(5.35)

Расчетный диаметр плоской прокладки определяем по формуле 7 [13]:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------|------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 57 |

$$D_{\text{сп}} := D_{\text{нп}} - b_0 = 343.983 \text{ мм} \quad (5.36)$$

Характеристики прокладки определяем по таблице И.1 [42]:

Таблица 5.7 – Характеристики прокладки

| Прокладочный коэффициент (m) | Удельное давление обжатия прокладки, МПа ($q_{\text{обж}}$) | Допускаемое удельное давление, МПа (q_d) | Коэффициент обжатия ($K_{\text{обж}}$) | Условный модуль сжатия прокладки, МПа ($E_{\text{п}}$) |
|------------------------------|---|--|--|--|
| 2.5 | 20 | 130 | 0.9 | $0.02 \cdot 10^5$ |

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке определяем по формуле 8 [13]:

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 1.299 \times 10^5 \text{ Н} \quad (5.37)$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения вычисляется по формуле 9 [13]:

$$R_{\text{п}} := \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P = 5.696 \times 10^3 \text{ Н} \quad (5.38)$$

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

Площадь поперечного сечений болтов для М20 определим по таблице Д.1 [13]: $f_b = 225 \text{ мм}^2$.

Наружный диаметр болта равен $d = 20 \text{ мм}$.

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра определяется по формуле 10 [13]:

$$A_b := n \cdot f_b = 2.7 \times 10^3 \text{ мм}^2 \quad (5.39)$$

Равнодействующая нагрузка от давления рассчитывается по формуле 11 [13]:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P = 1.631 \times 10^4 \text{ Н} \quad (5.40)$$

5.4.3.1 Податливость прокладки и болтов

Податливость прокладки определяется по формуле К.1 [13]:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------|------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 58 |

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}} = 8.328 \times 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (5.41)$$

Расстояние между опорными поверхностями гайки и болта принимаем равным $L_{60} = 47$ мм.

Эффективная длина болта при определении податливости определяется по стр. 32 [13]:

$$L_6 := L_{60} + 0.56 \cdot d = 58.2 \text{ мм} \quad (5.42)$$

Податливость болтов определяем по формуле К.2 [13]:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 9.454 \times 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (5.43)$$

5.4.3.2 Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

Параметр длины обечайки рассчитывается по формуле К.3 [13]:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s} = 49.719 \text{ мм} \quad (5.44)$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру определяется по формуле К.4 [13]:

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.408 \quad (5.45)$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца, определяются по формулам К.5 - К.8 [13]:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.749$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 6.426 \quad (5.46 \text{ а,б})$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 5.898$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 3.037 \quad (5.47 \text{ а,б})$$

Коэффициенты для фланцевых соединений с плоскими фланцами определяются по [13]:

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| | | | | | | 59 |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | |

$$\beta_F = 0.91;$$

$$\beta_V = 0.55;$$

$$f = 1.0.$$

Коэффициент λ определяется по формуле К.11 [13]:

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s^2} = 1.088 \quad (5.48)$$

Угловая податливость фланца при затяжке рассчитывается по формуле К.12 [13]:

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot s^2} = 6.723 \times 10^{-10} \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}} \quad (5.49)$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами определяется по формуле К.18 [13]:

$$C_F := \max \left(1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_\Phi}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right) = 1.11 \quad (5.50)$$

Приведенный диаметр плоского фланца определяется по рекомендации [22] и равен $D_{пр} = D$.

5.4.3.3 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в болтах для плоских фланцев определяется по формуле Е.1 [13]:

$$b_{\text{мм}} := 0.5(D_\Phi - D_{\text{сп}}) = 25.508 \text{ мм} \quad (5.51)$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев рассчитывается по формуле Е.7 [13]:

$$S_3 := s = 8 \text{ мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев определяется по формуле Е.4 [13]:

$$e_{\text{мм}} := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_3) = 13.492 \text{ мм} \quad (5.52)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для плоских фланцев рассчитывается по формуле Е.8 [13]:

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 60 |

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\text{б}} \cdot \frac{E_{20\text{б}}}{E_{\text{б}}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 8.851 \times 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \quad (5.53)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для плоских фланцев с плоскими прокладками, определяется по формуле E.11 [13]:

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\text{ф}} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\text{б}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}}} = 1.36 \quad (5.54)$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с плоскими фланцами определяется по формуле 13 [13]:

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20) - 2\alpha_{\text{б}} \cdot h \cdot (t_{\text{б}} - 20)] = 6.215 \times 10^3 \text{ Н} \quad (5.55)$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения определяется по [13]:

$$P_{\text{б1}} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\Pi} \\ \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\Pi} - Q_t \end{array} \right] = 3.985 \times 10^3 \text{ Н} \quad (5.56)$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов определяется по [13]:

$$P_{\text{б2}} := \max [(P_{\text{обж}}), 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot \sigma_{20\text{б}}] = 2.106 \times 10^5 \text{ Н} \quad (5.57)$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения определяется по формуле 17 [13]:

$$P_{\text{бм}} := \max (P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}}) = 2.106 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений в рабочих условиях рассчитывается формуле 18 [13]:

$$P_{\text{бр}} := P_{\text{бм}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_t = 2.16 \times 10^5 \text{ Н} \quad (5.58)$$

5.4.4 Проверка прочности болтов и прокладки

Определим расчетные напряжения в болтах:

- при затяжке по формуле 19 [13]:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 61 |

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_6} = 78 \text{ МПа} \quad (5.59)$$

- в рабочих условиях по формуле 20 [13]:

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6P}}{A_6} = 79.991 \text{ МПа} \quad (5.60)$$

Проверка условий прочности болтов при затяжке рабочих условиях по формулам 21,22 [13]:

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

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

Удельное давление на прокладку определяется по [13]:

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 19.986 \text{ МПа} \quad (5.61)$$

Так как прокладка выполняется из паротита, то по рекомендации [13] её необходимо проверить на прочность.

Проверка условия прочности прокладки:

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

Usl_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

5.4.5 Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на плоский фланец при затяжке рассчитывается по формуле 24 [13]:

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b = 5.961 \times 10^6 \text{ Н*мм} \quad (5.62)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях определяется по формуле 26 [13]:

$$M_P := C_F \cdot \max[P_{6P} \cdot b + (Q_d) \cdot e, |Q_d| \cdot e] = 6.148 \times 10^6 \text{ Н*мм} \quad (5.63)$$

5.4.5.1 Расчетные напряжения во фланце при затяжке

- меридиональное изгибное напряжение в обечайке плоского фланца определяется по формулам 30 [22]:

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (s - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}}$$
$$\sigma_{1M} := \sigma_{0M} = 301.164 \text{ МПа} \quad (5.64)$$

- напряжения в тарелке плоского фланца в условиях затяжки по рассчитываются формулам 31,32 [22]:

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 56.236 \text{ МПа} \quad (5.65)$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 64.264 \text{ МПа} \quad (5.66)$$

5.4.5.2 Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

- меридиональные изгибные напряжения для плоских фланцев рассчитываются по формуле 34 [22]:

$$\sigma_{1p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (s - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}}$$
$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} = 287.823 \text{ МПа} \quad (5.67)$$

- меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца определяется по формуле 38 [22]:

$$\sigma_{p0mm} := \frac{Q_d}{\pi \cdot (D + s) \cdot s - c} = 0.293 \text{ МПа} \quad (5.68)$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления в обечайке плоского фланца вычисляются по формуле 39 [22]:

$$\sigma_{p0mo} := \frac{P_n \cdot D}{2 \cdot (s - c)} = 1.02 \text{ МПа} \quad (5.69)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 63 |

Определим напряжения в тарелке плоского фланца в рабочих условиях:

- радиальное напряжение по формуле 40 [22]:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 58 \quad \text{МПа} \quad (5.70)$$

- окружное напряжение по формуле 41 [22]:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 66.281 \quad \text{МПа} \quad (5.71)$$

5.4.5.3 Проверка условий статической прочности фланцев

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций: [13] $K_T = 1.3$.

Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений и допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений рассчитываем в соответствии [13].

$$\sigma_{д.м} := 1.5 \cdot \sigma = 199.5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.Р} := 3 \cdot \sigma = 399 \text{ МПа} \quad (5.72)$$

Для плоских фланцев условия статической прочности вычисляются по формулам 47, 48 [22]:

- в рабочих условиях

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\left(\begin{array}{c} |\sigma_{0p} - \sigma_{P0mm} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{P0mm} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{P0mm}| \end{array} \right) \right) \quad (5.73)$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях:

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

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

- при затяжке

$$\sigma_{3max} := \max \left(|\sigma_{0m} + \sigma_{Rm}|, |\sigma_{0m} + \sigma_{Tm}| \right) \quad (5.74)$$

Проверка условий прочности при затяжке:

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

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

Для фланцев всех типов в сечении s должно выполняться условие по формуле 53 [22]:

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{P0Mo}|, |\sigma_{P0Mm}|) \leq \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

Для тарелок плоских фланцев должны выполняться следующие условия:

- при затяжке по формуле 54 [22:]

Проверка условий для тарелок плоских фланцев при затяжке

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

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

- в рабочих условиях по формуле 55 [22]:

Проверка условий для тарелок плоских фланцев в рабочих условиях

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

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

5.4.6 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца по формуле 58 [13]:

$$\Theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 4.488 \times 10^{-3} \text{ рад} \quad (5.75)$$

Допустимый угол поворота приварного встык фланца определяем по [13] и равен $\Theta_d = 0.006$ рад.

Проверка условия поворота фланца:

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

Usl_P = "Условие поворота фланца выполняется"

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 65 |

5.4.7 Проверка малоцикловой прочности элементов фланцевого соединения

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичных элементов фланцевого соединения, приведенного в [12], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [15] не проводится.

Вывод по расчету:

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

5.5 Расчёт колосниковой решетки

Колосниковая решетка представляет собой круглую пластину, опёртую по контуру и нагруженную равномерной нагрузкой от собственного веса и веса насадки. Т.к. сетчатая тарелка и колосниковая решетка испытывают одинаковые нагрузки при работе аппарата, то целесообразно использовать расчет для сетчатой тарелки для расчета колосниковой решетки.

Материал тарелки принимаем такой же, как и материал обечайки аппарата.

Определим коэффициент, зависящий от способа закрепления стенки [6] $K = 0.36$.

Примем колосниковую решетку [20]:

Масса тарелки $W_T = 8.2$ кг.

Расстояние между центрами отверстий на тарелке равно $t = 7$ мм.

Меньшая сторона тарелки $b = 155$ мм.

Предел текучести для материала тарелки: в рабочих условиях 101 °С:

$$\tau_{\text{тар}} := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\left(\begin{array}{c} 100 \\ 150 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 200 \\ 187.5 \end{array} \right), t_p \right], 0.5 \right] = 199.5 \text{ МПа} \quad (5.76)$$

Запас прочности $n_T = 1.1$.

Поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата $\eta_T = 0.9$.

Допускаемое напряжение на изгиб для материала решетки:

$$\sigma_{\text{из}} := \frac{\tau_{\text{тар}}}{n_T} \cdot \eta_T = 163.227 \text{ МПа} \quad (5.77)$$

Плотность насадки равна [19] $\rho_n = 904$ кг/м³.

Высота слоя насадки равна $Z = 900$ мм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 66 |

Масса насадки равна:

$$m_H := \rho_H \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D^2) \cdot Z \right] \cdot 10^{-9} = 6.482 \text{ кг} \quad (5.78)$$

Давление, действующее на решетку аппарата:

$$p := \frac{4 \cdot g \cdot (W_T + m_H)}{D^2 \cdot \pi} = 1.921 \times 10^{-3} \text{ МПа} \quad (5.79)$$

Расчетная толщина тарелки равна:

$$s_{тар} := K \cdot b \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{из} \cdot \varphi}} = 0.191 \text{ мм} \quad (5.80)$$

Исполнительная толщина тарелки равна:

$$s_{итар} := s_{тар} + c = 4.391 \text{ мм} \quad (5.81)$$

Принимаем толщину тарелки равной $s_T = 5$ мм.

Расчет на прогиб тарелки:

Коэффициент для жестко закрепленной по периметру секции равен $K_c = 0.0206$.

Модуль упругости материала тарелки при рабочих условиях:

$$t_w := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad E_T := \begin{pmatrix} 2.15 \cdot 10^5 \\ 2.05 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_T := \text{Ceil}(\text{linterp}(t, E_T, t_p), 0.5) = 2.148 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Исходя из [5, 6] относительный прогиб равен:

$$y := K_c \cdot \frac{b^4 \cdot p}{E_T \cdot s_T} = 0.021 \text{ мм} \quad (5.82)$$

Прогиб тарелки не должен превышать 3 мм [21].

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

Исходя из расчета, представленного выше следует, что прогиб решетки под действием собственного веса и веса насадки не превышает допустимой величины.

5.6 Расчет аппарата на прочность

Т.к. проектируемая колонная находится в здании ввиду своих габаритов, то ветровая нагрузка для этой колонны не рассчитывается.

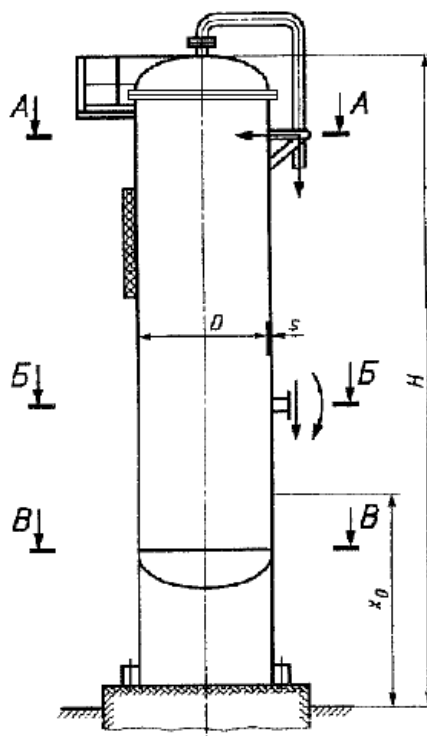


Рисунок 5.7 - расчетные сечения корпуса аппарата

5.6.1 Определение массы ректификационной колонны

- определение массы пустой колонны:

Масса обечайки:

- Масса обечайки рассчитывается по формуле:

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

$\rho_{об}$ - плотность материала обечайки (сталь 03Х18Н11)

$$\rho_{об} := 7850 \quad \text{кг/м}^3$$

(5.83)

Объем материала обечайки вычисляется по формуле:

$$V_{об} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D^2) \cdot H_k \quad \text{где } D_{нар}, D_{вн} - \text{наружный и внутренний диаметр обечайки соответственно, мм.}$$

H_k - высота обечайки, мм:

$$m_{об} := \rho_{об} \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D^2) \cdot H_k \right] \cdot 10^{-9} = 106.321 \quad \text{кг}$$

(5.84)

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 68 |

- Масса крышки и днища:

Согласно таблицы 16.3 [2] масса днища 325x8-25-03X18H11 равна 8,3 кг.

Тогда, суммарная масса крышки и днища равна:

$$m_{\text{дн}} := 2 \cdot 8.3 = 16.6 \text{ кг} \quad (5.85)$$

- Общая масса насадки равна [19]:

Из технологического расчета примем $Z = 900$ мм, $n = 1$, $\rho_{\text{H}} = 904$ кг/м³.

$$m_{\text{H}} := \rho_{\text{H}} \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{нар}}^2 - D^2) \cdot Z \cdot n \right] \cdot 10^{-9} = 6.482 \text{ кг} \quad (5.86)$$

- Общая масса аппарата равна:

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

$$m_{\text{апп}} := 1.3 \cdot (m_{\text{об}} + m_{\text{дн}} + m_{\text{H}}) = 168.223 \text{ кг} \quad (5.87)$$

Вес пустого аппарат равен:

$$G_3 := m_{\text{апп}} \cdot g = 1.65 \times 10^3 \text{ Н} \quad (5.88)$$

- определение массу колонны при гидроиспытаниях:

- Рассчитаем также массу воды в аппарате:

$$m_{\text{вод}} := \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot 10^{-9} = 127.484 \text{ кг} \quad (5.89)$$

- Масса аппарата при гидроиспытаниях:

$$m_{\text{а}} := m_{\text{апп}} + m_{\text{вод}} = 295.708 \text{ кг} \quad (5.90)$$

Вес аппарата при гидроиспытаниях равен:

$$G_1 := m_{\text{а}} \cdot g = 2.901 \times 10^3 \text{ Н} \quad (5.91)$$

По полученным значениям по [17] принимаем опору 4-300-1-0.8 АТК 24.200.04-90

5.6.2 Расчет нагрузок

По условию изгибающий момент равен:

$$M_{\text{исх}} := 0 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad \sigma_{\text{дк}} := \sigma_{\text{д}} = 133 \text{ МПа}$$

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

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 69 |

$$F_{\text{дп}} := \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{дк}} = 4.967 \times 10^5 \text{ Н} \quad (5.92)$$

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

$$M_{\text{дп}} := \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\text{дк}} = 3.837 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (5.93)$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости по формуле 30 [10] при $n_y = 1.8$ равен:

$$M_{\text{де}} := \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot D^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 4.844 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (5.94)$$

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

$$M_{\text{д}} := \frac{M_{\text{дп}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{\text{дп}}}{M_{\text{де}}} \right)^2}} = 3.825 \times 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (5.95)$$

5.6.3 Проверка прочности

- при рабочих условиях

Исходя из таблицы 1 [10]:

$$F_1 := G_1$$

$$F_{\text{дп}} := F_1$$

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

Продольные напряжения следует рассчитывать:

- на наветренной стороне по формуле 2 [18]:

$$\sigma_{x1} := \frac{P \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 2.873 \text{ МПа} \quad (5.96)$$

- на подветренной стороне по формуле 3 [18]:

$$\sigma_{x2} := \frac{P \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (s - c)} - \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = 2.873 \text{ МПа} \quad (5.97)$$

Кольцевые напряжения следует рассчитывать по формуле 4 [18]:

$$\sigma_y := \frac{P \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} = 3.659 \text{ МПа} \quad (5.98)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 70 |

Эквивалентные напряжения следует рассчитывать:

- на наветренной стороне по формуле 5 [18]:

$$\sigma_{E1} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 3.336 \text{ МПа} \quad (5.99)$$

- на подветренной стороне по формуле 6 [18]:

$$\sigma_{E2} := \sqrt{\sigma_{x2}^2 - \sigma_{x2} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 3.336 \text{ МПа} \quad (5.100)$$

Условия прочности следует проверять:

- на наветренной стороне по формуле 7 [18]:

Проверка условий прочности

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

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

- на подветренной стороне по формуле 8 [18]:

Проверка условий прочности

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

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

- при условиях монтажа:

По таблице 1 [18]:

$$F_3 := G_3$$

$$F_{ww} := F_3$$

При условиях монтажа избыточное давление в колонне равно 0:

$$P = 0 \text{ МПа}$$

Продольные напряжения следует рассчитывать:

- на наветренной стороне по формуле 2 [18]:

$$\sigma_{x1} := \frac{p \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = -0.447 \text{ МПа} \quad (5.101)$$

- на подветренной стороне по формуле 3 [18]:

$$\sigma_{x2} := \frac{p \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (s - c)} - \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = -0.447 \text{ МПа} \quad (5.102)$$

Кольцевые напряжения следует рассчитывать по формуле 4 [18]:

$$\sigma_{\text{кв}} := \frac{p \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} = 0 \text{ МПа} \quad (5.103)$$

Эквивалентные напряжения следует рассчитывать:

- на наветренной стороне по формуле 5 [18]:

$$\sigma_{\text{Е1}} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 0.447 \text{ МПа} \quad (5.104)$$

- на подветренной стороне по формуле 6 [18]:

$$\sigma_{\text{Е2}} := \sqrt{\sigma_{x2}^2 - \sigma_{x2} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = 0.447 \text{ МПа} \quad (5.105)$$

Условия прочности следует проверять:

- на наветренной стороне по формуле 7 [18]:

Проверка условий прочности

$$\text{Usl}_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{x1}|, \sigma_{\text{Е1}}) \leq \sigma_{\text{дк}} \cdot \varphi \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

- на подветренной стороне по формуле 8 [18]:

Проверка условий прочности

$$\text{Usl}_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{x2}|, \sigma_{\text{Е2}}) \leq \sigma_{\text{дк}} \cdot \varphi \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

5.6.4 Проверка устойчивости

Проверку устойчивости для рабочих условий и условий испытания для аппаратов под внутренним избыточным давлением следует проводить по формуле 9 [18]:

- при рабочих условиях:

По таблице 1 [18] принимаем $F = F_1$.

Проверка условий устойчивости

$$\text{Usl}_1 := \begin{cases} \text{"Условия устойчивости выполняются"} & \text{if } \left(\frac{F}{F_{\text{д}}} + \frac{M}{M_{\text{д}}} \leq 1 \right) \\ \text{"Условия устойчивости НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия устойчивости выполняются"

- при условиях испытания:

По таблице 1 [18] принимаем:

$$\underline{F} := G_1$$

$$\underline{M} := M_{исх}$$

Проверка условий устойчивости

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

Usl_1 = "Условия устойчивости выполняются"

5.6.5 Проверка на прочность опорной обечайки

Опорную обечайку следует проверять в местах ослабления сечения обечайки, а также в места приваривания опорной обечайки к обечайке аппарата (днищу).

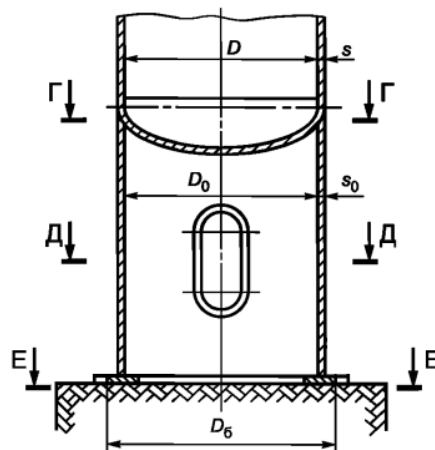


Рисунок 5.8 - расчетные сечения цилиндрической опорной обечайки

Проверку прочности сварного шва, соединяющего корпус аппарата с опорной обечайкой следует проводить по формуле 7 [18]:

$$\underline{D_0} := D$$

$$\underline{s_0} := s$$

Принимаем:

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

Проверка условий прочности

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot a} \cdot \left(\frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 0.8 \cdot \min(\sigma_d, \sigma_{dk}) \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

Принимаем диаметр отверстия в сечении Д-Д равным $d_0 = 20$ мм.

Т.к диаметр отверстия в сечении Д-Д удовлетворяет условию:

$$d_0 < 0.04 \cdot D_0$$

$$20 < 56 \quad \text{мм}$$

Проверка по формулам 12,13 [18] не проводится.

5.6.6 Элементы опорного узла

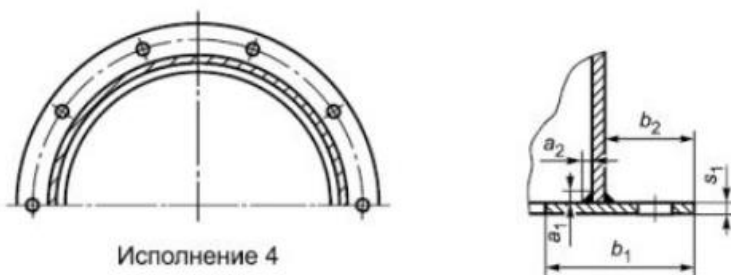


Рисунок 5.9 – Схема опорного узла

В качестве материала для опорного узла принимаем сталь 03X18H11.

Для опорного узла выбираем исполнение 4, то по [18] должны выполняться следующие условия:

Принимаем $D_0 = D$.

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия применимости выполняются"} & \text{if } s_1 \geq \sqrt{\left(\frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \cdot 4 \cdot \frac{e}{\pi \cdot D_0 \cdot \sigma_d}} + c \\ \text{"Условия применимости НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия применимости выполняются"

Проверку прочности сварного шва приварки нижнего опорного кольца исполнения 4 к опорной обечайке проводят по формуле 21 [18]:

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия применимости выполняются"} & \text{if } \left[\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot 1.4 \cdot \min(a_1, a_2)} \cdot \left(\frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 0.5 \cdot \sigma_d \right] + c \\ \text{"Условия применимости НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия применимости выполняются"

Расчет фундаментных болтов не проводится (пункт 9.1 [18]), т.к. аппарат находится в помещении, а как следствие расчетный изгибающий момент равен $M = 0$.

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

Студенту:

| | |
|-------------------------|--|
| Группа 3-2К51 | ФИО Бахмутов Александр Юрьевич |
|-------------------------|--|

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|--------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент Отделения социально-гуманитарных наук ШБИП | Креницына Зоя Васильевна | К.Т.Н., доцент | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 3-2К51 | Бахмутов Александр Юрьевич | | |

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящей работе представлен расчет установки для ректификации этилового спирта. Основными потребителями подобного оборудования являются предприятия химической, пищевой и нефтегазовой промышленности.

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

Таблица 6.1 – SWOT-анализ

| | | |
|--|---|--|
| | <p>Сильные стороны НИР: С1. Компетенции участников проекта в данной области С2. Актуальность и востребованность результатов проекта С3. Низкая стоимость проекта по сравнению с аналогичными технологиями С4. Относительная экономичность и энергоэффективность технологии С5. Возможность использования широкого спектра видов сырья</p> | <p>Слабые стороны НИР: Сл1. Большая конкуренция на внутреннем и внешнем рынках Сл2. Необходимость наличия широкой логистической цепи Сл3. Необходимость больших капиталовложений</p> |
| <p>Возможности: В1. Повышение квалификации персонала В2. Выход на международный рынок В3. Спрос на результаты теоретических расчетов</p> | <p>Постоянное повышение квалификации участников проекта позволит повысить актуальность и востребованность его результатов. Участие высококвалифицированного персонала, относительно низкая стоимость, высокая экономичность проекта и универсальность его результатов повышают вероятность выхода на международный рынок и спрос на результаты проекта.</p> | <p>Расширение на всероссийский и международный рынок повлечет за собой необходимость разработки широкой логистической сети и больших капиталовложений.</p> |

Продолжение таблицы 6.1

| | | |
|--|--|--|
| <p>Угрозы: У1. Риск невозможности выхода на мировой рынок и недостатка комплектующих в связи со санкционной политикой У2. Появление новых конкурентов и альтернативных технологий</p> | <p>Санкционная политика может привести к угрозе срыва поставок комплектующих и трудностям в реализации продукции на международном рынке. Появление альтернативных технологий также может негативно сказаться на возможности выхода на мировой рынок и компетенциях участников проекта.</p> | <p>Невозможность поставок материалов и комплектующих в связи с санкционной политикой ставит под угрозу улучшение качества продукции. Появление новых конкурирующих технологий может привести к необходимости модернизации продукции и, как следствие, большим капиталовложениям.</p> |
|--|--|--|

SWOT-анализ показывает на то, что основной угрозой проекта является санкционная политика. С целью обеспечения конкурентоспособности продукта, необходимо использование высококачественных отечественных материалов и комплектующих, соответствующих современным требованиям отрасли.

6.1 Планирование научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

Таблица 6.2 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

| Основные этапы работ | Номер работ | Содержание работ | Исполнитель |
|---------------------------------|-------------|---|---------------------------|
| Разработка технического задания | 1 | Составление и разработка технического задания | Научный руководитель (НР) |

Продолжение таблицы 6.2

| | | | |
|--|----|---|---------------------|
| Выбор направления исследований | 2 | Подбор материалов по теме исследования | НР, Исполнитель (И) |
| | 3 | Изучение материалов по теме исследования | И |
| | 4 | Выбор направления исследования | НР, И |
| | 5 | Календарное планирование работ | НР, И |
| Теоретические и экспериментальные исследования | 6 | Проведение теоретических расчетов с использованием ПО UniSim Design и MathCAD | И |
| | 7 | Выбор лучшего результата | НР |
| Обобщение и оценка результатов | 8 | Оценка эффективности полученных результатов | НР, И |
| | 9 | Определение целесообразности выполнения ВКР | НР, И |
| Проведение ВКР | | | |
| Разработка технической документации и проектирование | 10 | Разработка чертежей в программе КОМПАС 3D | И |
| | 11 | Проверка разработанных чертежей | НР, И |
| Оформление отчета по НИР | 12 | Составление пояснительной записки | И |

6.1.1 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 78 |

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

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

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

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

Таким образом:

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

Продолжительность каждой из работ рассчитана и представлена в таблице 6.5 с округлением до целых:

Таблица 6.5 – Временные показатели проведения работ

| № | Минимальная трудоемкость | Максимальная трудоемкость | Ожидаемая трудоемкость | Исполнители работ | Длительность в раб. днях | Длительность в кал. днях |
|-------|--------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | НР | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 4 | 3 | НР, И | 2 | 2 |
| 3 | 8 | 10 | 9 | И | 9 | 11 |
| 4 | 1 | 2 | 1 | НР, И | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | НР, И | 1 | 1 |
| 6 | 10 | 20 | 14 | И | 14 | 17 |
| 7 | 1 | 2 | 2 | НР | 2 | 2 |
| 8 | 1 | 2 | 2 | НР, И | 1 | 1 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | НР, И | 1 | 1 |
| 10 | 12 | 20 | 15 | И | 15 | 18 |
| 11 | 1 | 2 | 1 | НР, И | 1 | 1 |
| 12 | 17 | 25 | 20 | И | 20 | 24 |
| Итого | 60 | 90 | 72 | | 68 | 80 |

С учетом данных из таблицы 6.5 составим план-график работ (рис. 6.1):

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (принимается в размере 15% от стоимости материалов).

Таблица 6.6 - Материальные затраты в рамках работ (исполнение 1)

| Наименование | Единица измерения | Количество | Цена за единицу, руб | Затраты на материалы, руб. |
|--------------|-------------------|------------|----------------------|----------------------------|
| Этанол | т | 1 | 75000 | 86250 |
| Материал | т | 13 | 25 | 373,75 |
| Датчики | шт. | 10 | 6000 | 69000 |
| Пар | гКал | 0,1 | 8 | 0,92 |
| Итого | | | | 155624,67 |

Таблица 6.7 - Материальные затраты в рамках работ (исполнение 2)

| Наименование | Единица измерения | Количество | Цена за единицу, руб | Затраты на материалы, руб. |
|--------------|-------------------|------------|----------------------|----------------------------|
| Этанол | т | 1 | 75000 | 86250 |
| Материал | т | 13 | 25 | 373,75 |
| Датчики | шт. | 15 | 6000 | 103500 |
| Пар | гКал | 0,1 | 8 | 0,92 |
| Итого | | | | 190124,67 |

Таблица 6.8 - Материальные затраты в рамках работ (исполнение 3)

| Наименование | Единица измерения | Количество | Цена за единицу, руб | Затраты на материалы, руб. |
|--------------|-------------------|------------|----------------------|----------------------------|
| Этанол | т | 1 | 75000 | 86250 |
| Материал | т | 13 | 25 | 373,75 |
| Датчики | шт. | 20 | 6000 | 138000 |
| Пар | гКал | 0,1 | 8 | 0,92 |
| Итого | | | | 259124,67 |

6.2.2 Расчет амортизационных отчислений

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

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

где A_0 – амортизационные отчисления, руб.;

C_n – стоимость оборудования, руб.;

H_0 – норма амортизации, %;

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

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

Норма амортизационных вычислений вычисляется по следующей формуле:

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 82 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | | | | | |

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

где H_0 – норма амортизации, %

n – срок эксплуатации оборудования, лет.

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

Таблица 6.9 - Амортизационные отчисления

| Наименование основных средств | Количество основных средств, шт. | Срок эксплуатации, лет | Норма амортизации, % | Стоимость, тыс. руб. | Амортизационные отчисления, тыс. руб. |
|-------------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Колонна | 1 | 16 | 6,25 | 15000 | 20,03 |
| Конденсатор | 1 | 16 | 6,25 | 8000 | 10,68 |
| Подогреватель | 1 | 16 | 6,25 | 8000 | 10,68 |
| Емкость | 4 | 21 | 4,7619 | 4660 | 18,97 |
| Кипятильник | 1 | 16 | 6,25 | 8120 | 10,84 |
| Теплообменник | 2 | 16 | 6,25 | 8000 | 21,37 |
| Итого | | | | | 92,58 |

6.2.3 Затраты на электроэнергию

Затраты на электроэнергию рассчитывают по следующей формуле:

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

где $Z_э$ – затраты на электроэнергию;

$T_э$ – стоимость 1 кВт электроэнергии;

M – потребляемая мощность, кВт;

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

Таким образом:

$$Z_э = T_э \times M \times T_{\text{раб}} = 2,45 \times 176 \times 5 \times 24 = 51744 \text{ руб.}$$

6.2.4 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

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

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Таблица 6.10 - Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | Руководитель | Инженер |
|--|--------------|---------|
| Календарное число дней | 366 | 366 |
| Количество нерабочих дней | | |
| - выходные дни | 44 | 48 |
| - праздничные дни | 14 | 14 |
| Потери рабочего времени | | |
| - отпуск | 56 | 28 |
| - невыходы по болезни | 0 | 0 |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 252 | 276 |

Месячный должностной оклад работника:

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

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

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

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

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

Произведем расчет фонда заработной платы производственных рабочих и занесем результаты в таблице 6.11.

Таблица 6.11 - Расчет фонда заработной платы производственных рабочих

| Исполнители | Зб, руб. | $k_{пр}$ | $k_{д}$ | $k_{р}$ | З _м , руб | З _{дн} , руб. | Т _р , раб.д н. | З _{осн} , руб. |
|--------------|-------------|----------|---------|---------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Руководитель | 35120 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 68484 | 2826 | 10 | 28260 |
| Инженер | 26300 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 51285 | 1932 | 65 | 125580 |
| Итого | | | | | | | | |

6.2.5 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12). Результаты расчета приведены в таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы

| Зарботная плата | Руководитель | Инженер |
|---------------------------------------|--------------|----------|
| Основная зарплата | 28260 | 125580 |
| Дополнительная зарплата | 3391,2 | 15069,6 |
| Зарплата исполнителя | 31651,2 | 140649,6 |
| Итого по статье С_{зп} | 172300,8 | |

6.2.6 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2016 г. Размер ставки страховых взносов равен 30% (22% - ПФР, 5,1% - ФОМС, 2,9% - ФСС). Таким образом:

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot (31651,2 + 140649,6) = 51690,24 \text{ руб.}$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (6.16)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (табл. 6.14).

Таблица 6.14 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Объект исследования Критерии | Весовой коэффициент параметра | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|---------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 1. Производительность | 0,1 | 5 | 5 | 5 |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,15 | 5 | 5 | 4 |
| 3. Энергосбережение | 0,15 | 5 | 4 | 4 |
| 4. Надежность | 0,20 | 4 | 4 | 5 |
| 5. Доступность запчастей | 0,25 | 5 | 5 | 5 |
| 6. Стоимость | 0,15 | 5 | 4 | 3 |
| ИТОГО | 1 | 4,8 | 4,5 | 4,4 |

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}^{исп1}}, I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}^{исп2}} \quad (6.17)$$

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

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (6.18)$$

Таблица 6.15 - Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|-------|---|-------|-------|-------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 0,82 | 0,88 | 1,00 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,8 | 4,5 | 4,4 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 5,85 | 5,11 | 4,4 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 1,00 | 0,87 | 0,75 |

Таким образом, наиболее ресурсоэффективным является исполнение номер 1, предусматривающее использование 10 датчиков.

Выводы по главе

- 1) Определен коммерческий потенциал, а также сильные и слабые стороны проекта. По результатам SWOT анализа, основной угрозой в реализации проекта является санкционная политика, способная привести к сбоям в поставках, комплектующих и затруднению выхода на международный рынок.
- 2) Составлен план-график работ, включающий 12 основных пунктов.
- 3) Рассчитан бюджет работ, который не превысил 1000 тыс. руб.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-------------------------------|
| 3-2К51 | Бахмутову Александру Юрьевичу |

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

Тема ВКР:

| | |
|--|--|
| Проектирование установки ректификации спирта | |
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Объект исследования – Ректификационная колонна Рабочая зона – Закрытая площадка (цех) Область применения – Химическая промышленность |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: -специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; -организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | - Федеральный закон «О специальной оценке условий труда»; - Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»; - Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»; Федеральный закон «Об основах охраны труда в РФ» - Трудовой кодекс РФ. |
| 2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов | Вредные факторы: 1.Повышенный уровень общей вибрации; 2.Повышенный уровень шума; 3.Недостаток необходимого искусственного освещения. Опасные факторы: 1.Высокая температура поверхности оборудования. |

| | |
|---|--|
| 3. Экологическая безопасность: - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы) | - Анализ воздействия объекта на атмосферу (тепловые загрязнения, этиловый спирт); - Анализ воздействия объекта на гидросферу (отсутствуют); - Анализ воздействия объекта на литосферу (отсутствуют). |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: | Возможные ЧС: землетрясения, пожаровзрывоопасность, прямой удар молнии. Наиболее типичная ЧС на объекте – пожаровзрывоопасность. |
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------------|---------|------|
| 3-2К51 | Бахмутову Александру Юрьевичу | | |

7 Социальная ответственность

Объектом исследования в данной выпускной квалификационной работе является насадочная ректификационная колонна для разделения бинарной смеси вода-этанол.

На разрабатываемой рабочей площадке (цех) будет располагаться следующее оборудование: ректификационная колонна, насосы, конденсаторы и подогреватели. Данное оборудование и его эксплуатация создает опасные и вредные факторы. При работе с представленным оборудованием необходимо строго соблюдать технику безопасности, должны применяться всевозможные меры для обеспечения безопасных условий труда для рабочего персонала.

Данный раздел выпускной квалификационной работы предусматривает собой анализ условий труда, выявление вредных и опасных факторов, определение порядка проведения мероприятий по технике безопасности, мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте сотрудников предприятия.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с [22] разрабатываемая ректификационная колонна относится к категории опасных производственных объектов по следующим пунктам:

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

Данная категория разбита на подкатегории, позволяющие учесть степень воздействия и предусмотреть льготы, позволяющие компенсировать причиненный вред. В частности, на законодательном уровне установлены следующие льготы: дополнительный отпуск; сокращенная норма часов труда в неделю; доплата в процентном соотношении к окладу либо часовой ставке; проведение медицинских обследований; досрочный выход на пенсию; выдача специального питания; страхование от несчастных случаев; запрет на совместительство должностей.

Гарантии и компенсации лицам, работающим вахтовым методом (Ст. 302 ТК РФ). Работники, выезжающие для выполнения работ вахтовым методом, имеют право на установление районного коэффициента, надбавки к заработной плате и дополнительный оплачиваемый отпуск.

Вахтовый метод работы по Трудовому кодексу регулируется главой 47. Работодатель согласно ТК РФ, обеспечивает работников жильем, когда они находятся на месте проведения работ (ст. 297).

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 91 |

Оплата работы вахтовым методом ТК РФ отмечена в ст. 302. Любой календарный день пребывания на работе в вахтовый период, а также фактические дни пути от места, где находится работодатель (пункта сбора), до места выполнения трудовых задач и обратно оплачивается надбавкой, которая заменяет суточные. Ее величина и порядок выплаты зависит от того, какой организацией является работодатель.

Организация рабочей зоны представляет собой материальную основу, обеспечивающую эффективное использование оборудования и рабочей силы. Главной ее целью является обеспечение высококачественного, эффективного и безопасного выполнения работы в установленные сроки на основе полного использования оборудования, рабочего времени, применения рациональных приемов и методов труда, создания комфортных и безопасных условий труда, обеспечивающих длительное сохранение работоспособности работников. Для исследуемой рабочей зоны важными являются следующие эргономические параметры: обеспечение рабочего персонала средствами передвижения (велосипед); обустройство рабочей площадки (лестницы и смотровые площадки с поручнями не ниже 1500 мм; теплоизоляция на всех участках оборудования с температурой выше 60 °); обеспечение рабочего персонала исправным и надежным инструментом, а также средствами ликвидации ЧС; обеспечение качественного искусственного освещения, вентиляции помещения и др. параметров, для комфортной работы рабочего персонала.

С технической стороны рабочая зона должна быть оснащено прогрессивным оборудованием, необходимой технологической и организационной оснасткой, инструментом, контрольно-измерительными приборами, предусмотренными технологией, подъемно-транспортными средствами, а также средствами, обеспечивающими безопасность персонала.

7.2 Производственная безопасность

В целях обеспечения производственной безопасности необходимо выявить и устранить (или предусмотреть специальные методы защиты) опасные и вредные производственные факторы. Проектируемая ректификационная колонна разделения бинарной смеси этанол-вода расположена в здании, что повышает уровень ее воздействия на микроклимат в данном здании, однако сокращает уровень вредоносного воздействия на окружающую среду. Выбор факторов производится с использованием [23]. Выявленные факторы перечислены в таблице 7.1.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 92 |

Таблица 7.1 - Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации ректификационной колонны

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Этапы работ | | Нормативные документы |
|--|--------------|--------------|--|
| | Изготовление | Эксплуатация | |
| 1. Повышенный уровень общей вибрации | + | + | ГОСТ 26568-85. Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация [25] |
| 2. Повышенный уровень шума | + | + | ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. [23] |
| 3. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения | + | + | ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. [23] СНиП 23-05-095 Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал [30] |
| 4. Высокая температура поверхности оборудования | | + | ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. [27]; ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. [29]; СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [31]. |

7.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

7.3.1 Повышенный уровень общей вибрации и шума

Основным источником вибрации и шума, возникающим при эксплуатации ректификационной колонны, является движение жидкости по изменяющим направление трубопроводам, а также в следствии стекания, орошения жидкости внутри разрабатываемой колонны. Кроме вибраций и шума, возникающих непосредственно в колонне в цехе и других производственных помещениях источниками шума также являются вентиляторы и электродвигатели рабочих механизмов, уровень шума которых при установке в соответствие с техническими требованиями не должен превышать допустимых норм. Шум и вибрация являются результатом колебания тел, передаваемого непосредственно или на расстояние другим объектам. Шум и вибрация различаются частотой колебаний в секунду. Если число колебаний в секунду не превышает 16, то они воспринимаются человеком как сотрясения и называются вибрацией. Частота колебаний от 16 до 20000 в секунду воспринимается органами слуха как шум, колебания с частотой свыше этого предела не ощущаются человеком, и называются ультразвуками. Вибрация приводит к преждевременному износу деталей, механизмов, может вызвать аварию, вредно действует на сердечно-сосудистую и нервную системы организма, вызывает снижение слуха и даже стойкую глухоту, является причиной снижения работоспособности, ослабления памяти, внимания, остроты зрения, что увеличивает возможность травматизма [25].

В целях снижения уровня шума в производственных помещениях до допустимых значений в соответствии с [23, 25]: предусмотрено:

1. установка вентагрегатов в отдельных выгороженных помещениях - венткамерах, расположенных в удаленных от рабочих мест частях здания;
2. подбор диаметров воздухопроводов по средним скоростям в магистральных воздухопроводах для уменьшения сопротивления сети (4 - 8 м/с);
3. плавное соединение воздухопроводов с вентиляционным агрегатом при помощи переходов и гибких вставок;
4. виброизоляция вентагрегатов с помощью пружинных амортизаторов, идущих в комплекте к вентиляционным агрегатам;
5. монтаж насосов и химического оборудования беспрокладочным методом с применением установочных винтов, удаляемых после подливки;
6. подвод питания к электродвигателям по гибким кабелепроводам.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 94 |

На исследуемом производстве ООО НПП «Эталон» для устранения приведенных ранее источников вибрации и шума необходимо поместить аппараты на отдельно стоящий фундамент и на виброизолирующие опоры, а также использовать гибкие вставки в узлах воздуховодов.

7.3.2 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Рациональное освещение производственных помещений, в данной работе под производственным помещением следует понимать цех, с установленным в нем оборудованием, в светлое время суток осуществляется за счет естественного освещения через оконные проемы в наружных стенах. В темное время суток применяется общее местное и комбинированное искусственное освещение. Предусмотрено также аварийное и дежурное освещение. Рациональное освещение рабочих мест обеспечивает безопасные и здоровые условия труда. Освещение, соответствующее санитарным нормам, является главным условием гигиены труда и культуры производства. При хорошем освещении устраняется напряжение зрения, ускоряется темп работы. При недостаточном освещении глаза сильно напрягаются, темп работы снижается, снижается производительность труда. Недостаточное освещение рабочих мест отрицательно влияет на хрусталик глаза, что может привести к близорукости.

В целях сохранения работоспособности в течение рабочей смены необходимым условием является рациональное освещение помещений и рабочих мест, которое обеспечивается естественным и искусственным освещением согласно [30]. В соответствии с таблицей 1 и таблицей 2 [30] выбраны следующие разряды зрительных работ:

- технологические помещения: IV-Г;
- служебные помещения: Б-2;
- физико-химическая лаборатория: А-2;
- вентиляционные камеры: VIII-В;
- проходы, тамбуры, лестничные клетки: Ж-1, З-1, В-2;
- насосные: IV-Г.

В соответствии с разрядами зрительных работ по таблицам Е1 и Ж1 [30] приняты нормативные освещенности от 10 до 300 лк. В соответствии с рекомендацией [30] предусматриваем резервное внутреннее освещение цеха, при необходимости предусматриваем оснащение персонала средствами освещения (фонариками).

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 95 |

7.3.3 Высокая температура поверхности оборудования

Относительно высокое значение температуры воздуха рабочей зоны обуславливается тем, что в ректификационной колонне производится массообменный процесс. Корпус аппарата нагревается до 101 °С и нагревает воздух. На аппарате установлена теплоизоляция для уменьшения тепловых потерь и защиты от ожогов.

Санитарные правила и нормы [31] устанавливают определённый микроклимат для цеха. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений согласно [26] в таблице 7.2.

Таблица 7.2 - Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений

| Период года | Температура, °С | Относительная влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|
| Холодный | 21-23 | 40-60 | 0,1 |
| Теплый | 22-24 | 40-60 | 0,1 |

В исследуемом помещении существуют система действующей вентиляции и водяного отопления, которые позволяют поддерживать необходимую температуру, соответствующую [31].

7.4 Экологическая безопасность

Функционирование проектируемой ректификационной колонны оказывает негативное влияние на качество окружающей среды. При работе с ректификационной колонной отвод сточных вод отсутствует, как и отходы в литосферу, ввиду ненужности, однако возможны случаи загрязнения атмосферы. Загрязнение атмосферы может происходить в результате утечки спирта и последующего его испарения. ПДК содержания этанола в воздухе рабочей зоны равно 1 г/м³.

Комплекс проектных мероприятий, направленных на уменьшение воздействия объектов на атмосферу и поддержание концентрации этанола в воздухе ниже значения ПДК, должен включать:

- принятие герметичных схем приема-откачки спирта и других химических продуктов;
- обеспечение сбора утечек этанола с оборудования в подземные дренажные

емкости с дальнейшим возвратом в технологический процесс;

- закрытый дренаж трубопроводов и оборудования;
- лабораторный контроль за соблюдением нормативов выбросов этанола в атмосферу.

7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации (ЧС) – обстановка на определенной территории сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Чрезвычайные ситуации подразделяются на следующие виды:

- природные (наводнение, снег, ветер, низкие температуры);
- техногенные (аварии, пожары);
- военные.

На химическом предприятии возможны следующие чрезвычайные ситуации природного характера:

- прямой удар молнии;
- взрыв с последующим пожаром;
- возгорание паров спирта.

Наиболее вероятной ЧС может быть взрыв с последующим пожаром. При возникновении чрезвычайной ситуации на установке ректификации были разработаны следующие действия:

- в случае ЧС персонал, незадействованный на работах по ликвидации чрезвычайной ситуации, а также лица, оказавшиеся на месте аварии, эвакуируются из зоны действия поражающих факторов;
- по периметру опасной зоны выставляется оцепление;
- персонал, участвующий в проведении работ по ликвидации ЧС и работающий в загазованной области обеспечивается средствами защиты органов дыхания;
- персонал, участвующий в ликвидации ЧС и работающий в условиях непосредственного соприкосновения с химическими веществами обеспечивается средствами защиты кожи;
- медицинское обеспечение организуется в целях своевременного оказания первой помощи рабочим и служащим, а также эвакуации их в лечебные учреждения;

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 97 |

– для оказания первой помощи пострадавшим из числа обслуживающего персонала силами дежурного медицинского персонала развертывается санитарный пост, оснащенный всеми необходимыми медикаментами для оказания экстренной помощи. Здесь осуществляется первая доврачебная помощь пострадавшим. При этом важно своевременно и правильно оказать пострадавшему первую помощь (до оказания помощи медицинским работником);

– с прибытием к месту аварии профессиональных бригад скорой помощи оказание медицинской помощи осуществляется в тесном взаимодействии медицинских работников и членов санитарной дружины. При необходимости пострадавшие доставляются в ближайшее медучреждение автомобильным транспортом.

Для ликвидации последствий ЧС на химическом предприятии были предприняты следующие действия:

– оповещение населения и последующая их эвакуация.

На производстве действия персонала при авариях регламентируются Планом ликвидации аварий.

Вывод:

В данном разделе рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при работе на ректификационной колонне, выявлены вредные и опасные факторы, а также разработаны мероприятия по снижению или ликвидации действия данных факторов на работников завода, например, использование отбойников для снижения вибрации, а также использование противочумных касок. Описано возможное влияние этилового спирта на окружающую среду, рассмотрены способы минимизации их воздействия, а именно повышенный контроль сварных швов под опорной обечайкой, а также контроль трубопроводной обвязки ректификационной колонны. Также рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации и выделено наиболее вероятное ЧС (пожар), а также порядок действий при его ликвидации. На любом производстве, а тем более на химическом необходимо строго следовать правилам безопасности для минимизации рисков возникновения ЧС, а также для его предотвращения.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 98 |

Заключение

Результатом выполнения выпускной квалификационной работы стал расчет ректификационной колонны по разделению бинарной смеси этанол - вода по заданным параметрам (производительности, содержанию легкокипящего компонента в исходной смеси, кубовом остатке и дистилляте).

Был произведен технологический расчет, результатом которого стало определение числа теоретических ступеней ректификации, а также определение конструктивных размеров колонны; механический расчет, результатом которого стало соответствие элементов аппарата критерием надежности. Разработанная ректификационная колонна соответствует всем ГОСТам, ОСТам и т.д., а также обеспечивает заданную производительность по спирту.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ вредных факторов, связанных с эксплуатацией рассчитанной ректификационной колонны. Также в данном разделе приведены и обоснованы рекомендации по снижению воздействия вредоносных факторов на организм человека и окружающую среду.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был произведен расчет ТЭП, определена точка безубыточности, а также были проанализированы сильные и слабые стороны разрабатываемой ректификационной колонны.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 99 |

Список использованных источников

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – 14-е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. - М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 576с.
2. ГОСТ 6533-78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры (с Изменениями №1,2). Основные размеры. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 26с.
3. ГОСТ 1255-67. Фланцы с соединительным выступом стальные плоские приварные. Конструкция, размеры и технологические требования. - М.: Изд-во комитет стандартов СССР, 1967. – 12с.
4. Лазинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. / А.А. Лазинский, А.Р. Толчинский - Л.: Машиностроение, 1970. - 752с.
5. Беляев В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч.1: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств / В.М. Беляев, В.М. Миронов. - Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2016. - 313с.
6. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Ч. 1. Учеб. пособие. - Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2003. - 118с.
7. Машины и аппараты химических производств. Под.ред. И.И.Чернобыльского. Изд.3-е перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1975.-456с.
8. ГОСТ 34233.1-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. - М.: Стандартиформ, 2018. - 35с.
9. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент (с Изменениями N 1,2). - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 9с.
10. ГОСТ 34233.2-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. - М.: Стандартиформ, 2018. – 58с.
11. Н. Tran, K. Chiang, J. Scott and R. Amal, Photochem. Photobio. Sci., 2005, 4, P. 565-567.
12. ГОСТ 33259-2015. Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до PN 250. Конструкция, размеры и общие технические требования (с Поправками). - М.: Стандартиформ, 2016. – 105с.
13. ГОСТ 34233.4-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. - М.:

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 100 |

Стандартинформ, 2018. – 46с.

14. ГОСТ 15180-86. Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 12с.

15. ГОСТ 34233.6-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках. - М.: Стандартинформ, 2018. – 23с.

16. ГОСТ 34233.3-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. - М.: Стандартинформ, 2018. – 45с.

17. АТК 24.200.04-90. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры. - М., Изд-во стандартов, 1990. - 15с.

18. ГОСТ 34233.9-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Аппараты колонного типа. - М.: Стандартинформ, 2018. – 20с.

19. Изделия кислотоупорные керамические (насадки цилиндрические – кольца Рашига). [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://clck.ru/MZ67k> (дата обращения: 15.03.2020).

20. ОСТ 26-805-73 ТАРЕЛКИ СИТЧАТЫЕ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ. ТИП И ПАРАМЕТРЫ. КОНСТРУКЦИЯ И РАЗМЕРЫ. - М., МХНМ, 1973. - 30с.

21. ГОСТ 31838-2012 Аппараты колонные. Технические требования. - М.: Стандартинформ, 2019. – 10с.

22. Федеральный закон №426-ФЗ от 28 декабря 2013 г.

23. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М.: Стандартинформ, 2019.

24. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2). - М.: ГУП ЦПП, 2002.

25. ГОСТ 26568-85. Вибрация. Метод и средства защиты. Классификация. (с Изменением N 1). - М.: Издательство стандартов, 1987.

26. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.

27. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. — Изд. офиц. Москва: Стандартинформ, 2012.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------|------|
| | | | | | ФЮРА.КР.000000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 101 |

28. ГОСТ 12.0.002-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2019.

29. ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. — Изд. офиц. М осква: Стандартиформ, 2007.

30. Строительные нормы и правила: СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал. - Москва: [б.и.], 1996.

31. Строительные нормы и правила: СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - Москва: [б.и.], 1996.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ФЮРА.КР.000000 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 102 |