

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

Институт физики высоких технологий

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

Проектирование и расчет ректификационной колонны разделения пропан-пропиленовой фракции

УДК 66.048.3.001

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Скирдин Кирилл Вячеславович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Раденков Т.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общей химии и химической технологии	Ан В.В.	к.т.н.		

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

Институт физики высоких технологий

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

Кафедра Общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Скирдин Кирилл Вячеславович

Тема работы:

Проектирование и расчет ректификационной колонны разделения пропан-пропиленовой фракции

Утверждена приказом директора (дата, номер)

24.03.17, 2056/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2017

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта проектирования; производительность; 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.).

Расчет ректификационной колонны непрерывного действия с ситчатыми тарелками разделения пропан-пропиленовой фракции

Производительность колонны по исходной смеси 486 т/сутки = 20250 кг/час = 5,625 кг/с.

Содержание легколетучего компонента в массовых %:

- в исходной смеси 62%;
- в дистилляте 95%;
- в кубе не более 5%.

Исходная смесь питания поступает в колонну при температуре 48 °С под давлением 2,1 МПа. Расчетное давление в колонне примем - 2,1 МПа.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов аналитический обзор по литературным источникам, статьям и научно-исследовательским материалам с целью поиска, анализа и систематизации теоретических аспектов изучаемых процессов. Постановка цели исследования, задач, определение объекта и субъекта исследования; описание методов исследования.</p>	<p>1. Технологический расчет включает в себя:</p> <ul style="list-style-type: none"> описание схемы производства; составление материального баланса колонны; расчет оптимального флегмового числа, числа теоретических и реальных тарелок; расчет оптимального диаметра и высоты колонны; расчет высоты светлого слоя жидкости на тарелке; расчет гидравлического сопротивления тарелок; <p>2. Конструктивно-механический расчет:</p> <ul style="list-style-type: none"> выбор материала ректификационной колонны; расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, крышки и днища; расчет штуцеров и фланцев; расчет тарелок на прогиб; расчет укрепления отверстий; поверочный расчет; расчет опорной обечайки. расчет тепловой изоляции. <p>3. Социальная ответственность:</p> <ul style="list-style-type: none"> производственная безопасность; экологическая безопасность; безопасность при чрезвычайных ситуациях; <p>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:</p> <ul style="list-style-type: none"> анализ рынка полипропилена в России; поиск слабых и сильных сторон предприятия (SWOT-анализ); расчет основных экономических показателей производства; построение графика безубыточности.
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 - Общий вид ректификационной колонны (A₀). Лист 2 - Выносные элементы ректификационной колонны (A₁); Лист 3 - Технологическая схема (A₁); Лист 4 - Экономические показатели (A₁).</p>
<p align="center">Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p align="center">Раздел</p>	<p align="center">Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p align="center">Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p align="center">Раденков Тимофей Александрович</p>
<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p align="center">01.06.2017</p>

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись
2К32	Скирдин Кирилл Вячеславович	

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
Р10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
Р11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
Р12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	6
ВВЕДЕНИЕ	10
1. МАТЕРИАЛЬНЫЙ РАСЧЕТ	13
1.1. Материальный баланс ректификационной колонны.....	13
1.2. Пересчет составов фаз из массовых долей в мольные.....	14
1.3. Построение фазовых диаграмм.....	15
1.4. Определение рабочего флегмового числа.....	17
1.5. Массовые расходы жидкости в верхней и нижней частях колонны.....	21
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПАРА И ДИАМЕТРА КОЛОННЫ	24
2.1. Расчет вязкости компонентов	24
2.2. Скорость пара и диаметр колонны.....	25
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ КОЛОННЫ	28
3.1. Расчет высоты светлого слоя жидкости на тарелке и паросодержания барботажного слоя.....	28
3.2. Определение коэффициентов массопередачи и высоты колонны.....	29
4. РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОЛОННЫ	37
5. КОНСТРУКТИВНО-МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	40
5.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, днища и крышки.....	40
5.1.1. Выбор материала ректификационной колонны.....	40
5.1.2. Определение расчетных параметров и толщин стенок ректификационной колонны.....	41
5.1.3. Расчет толщины стенок цилиндрической части аппарата из условия прочности.....	42
5.1.4. Расчёт цилиндрической обечайки на устойчивость.....	44
5.2. Расчет толщины эллиптической крышки и днища.....	48

									Лист
									7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

5.2.1. Определение допускаемых значений давления.....	50
5.3 Расчет штуцеров.....	52
5.4 Подбор люка-лаза.....	56
5.5 Расчет укрепления отверстий.....	59
5.5.1. Расчет укрепления отверстий крышки и днища.....	59
5.5.2. Расчет укрепления отверстий центральной обечайки.....	60
5.6. Расчет фланцев.....	64
5.7 Расчет тарелок на прогиб.....	78
5.8. Расчет ветровой нагрузки и сейсмического воздействия.....	83
5.8.1. Определение веса аппарата и расчетных коэффициентов.....	90
5.8.2. Расчет для условий гидроиспытаний.....	91
5.8.3. Расчет для рабочих условий.....	100
5.8.4 Расчет для условий монтажа.....	105
5.9. Расчет опорной обечайки.....	115
5.10 Расчет тепловой изоляции.....	115
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕССУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	118
6.1 Предпроектный анализ. Анализ рынка. Основные потребители и конкуренты.....	118
6.2 SWOT-анализ.....	118
6.3 Экономический расчет.....	120
6.3.1 Расчет производственной мощности.....	120
6.3.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству.....	122
6.3.3 Расчет капитальных затрат.....	128
6.3.4 Расчет технологических затрат.....	131
6.3.5 Калькуляция себестоимости получения 1 т товарного пропилена.....	132
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	139

ВВЕДЕНИЕ

Ректификация - процесс тепло и массопереноса, посредством которого происходит разделение бинарных или многокомпонентных смесей на составляющие.

Непременным условием протекания ректификационных процессов является наличие контакта паровой и жидкой фазы, находящихся в неравновесном состоянии. Т.к. давление фаз в процессе ректификации остается постоянным, температуры варьируются в зависимости от той или иной фазы. В результате контакта фаз и протекающего при этом тепло и массообмена пар, имеющий более высокую температуру, конденсируется жидкостью с более низкой температурой, отдавая тем самым часть тепла жидкости, которая в результате теплообмена испаряется. Итогом процесса ректификации и двустороннего массо и теплообмена является обогащение пара легколетучим (низкокипящим) компонентом, и обогащение жидкости высококипящим компонентом. Поскольку любая изолированная система стремится к равновесию, температура системы с течением времени выравнивается.

Описанное многократно повторяющийся контакт пара и жидкости с двусторонним тепло и массообменом, происходит в ректификационных колоннах, оснащенных специализированными контактными устройствами.

Чаще всего принцип действия ректификационных колонн основан на противотоке, при этом на каждом отдельном участке колонны происходящий тепло и массоперенос может происходить по различным схемам.

С целью смещения равновесия фаз в нежную часть колонны к кубу подвигаться энергия в виде теплоты, при этом в верхней части колонны происходит процесс поглощения тепла в окружающую среду по средством отбора дистиллята в дефлегматор.

Смесь питания с определенным содержанием легколетучего компонента X_f в количестве f подается на тарелке питания при температуре T_f . На тарелке

									Лист
									10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

питания происходит процесс однократного испарения, образуется паровая фаза обогащенная легколетучим компонентом, и фаза жидкости обогащенная высококипящим компонентом. Фаза в жидком состоянии опускается по тарелкам вниз напрямиком в куб, где получая запас энергии в виде тепла вновь испаряется. Появившийся пар движется вверх ректификационной колонны, противотоком жидкой фазе, в результате чего происходит тепло и массо обмен. Повторяющийся многократно этот процесс приводит к обогащения легколетучим компонентом дистиллята, и высококипящим кубового остатка.

Пар дистиллята при выходе из колонны попадает в дефлегматор, в котором разделяется на два потока: жидкую фазу, которая отправляется обратно в колонну в виде флегмы и паровую фазу удаляемую из колонны в виде пара.

Высокое значение содержания легколетучего компонента в жидкой фазе возвращаемой в виде флегмы на орошение колонны предполагает в верхней части колонны происходит преимущественно процесс увеличения содержания легколетучего компонента (процесс укрепления). Именно поэтом верхняя часть колонны называется укрепляющей, а нижняя исчерпывающей[2, с.226-227].

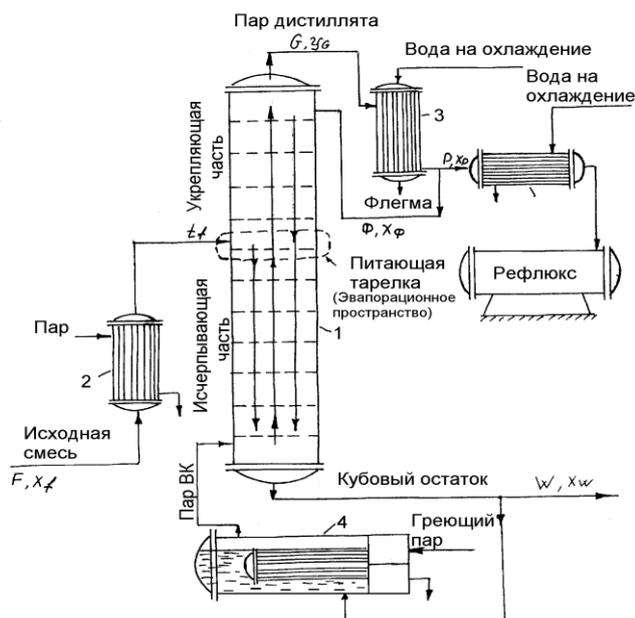


Рисунок 1. Схема ректификационной установки непрерывного действия для разделения бинарных смесей.

1 - колонна ректификации; 2 - нагреватель смеси питания; 3 - дефлегматор; 4 -нагреватель куба колонны; 5 - теплообменник .

Целью данной работы является расчет ректификационной колонны разделения пропан-пропиленовой фракции. Для достижения данной цели необходимо решение следующих задач:

1. проведение технологического расчета проектируемого аппарата;
2. проведение конструктивно-механического расчета;
3. проведение финансово расчета;
4. проработка вопросов безопасности жизнедеятельности при работе с проектируемой установкой;

Объектом исследования является технологическое оформление производства пропилена. Предмет исследования: ректификационная колонная разделения пропан-пропиленовой фракции.

Методы исследования: поиск, обработка, систематизация и анализ данных; расчет и проектирование.

Многочисленные труды зарубежных и отечественных авторов посвященные теоретическим и практическим аспектам проектирования и расчета массообменных аппаратов нашли отражения на страницах многочисленных учебно-методических пособий посвященным данной проблематике. Одним из выдающихся результатов становления советской инженерной школы является разработка методологических материалов и опытных эмпирических данных по расчету и проектированию массообменных аппаратов. Так, например А.Г. Касаткин, В.М. Рамм, А.Н. Плановский, В.М. Жаворонков, В.В. Кафаров, Н.И. Гельперин, Б. К. Мурашкин, И.А. Александров внесли большой вклад в развитие теоретических концепций и практических методологий разработки массообменных аппаратов. Не маловажный вклад внесли и многочисленные работы Г.С. Борисова, В. П.

										Лист
										12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Брыкова, Ю.И. Дытнерском, Ю.Н. Ковалев, Р.Г. Кочаров, Н.В. Кочергин, С.И. Матюшин, В.А. Набатов, А.М. Трущин, М.А. Шерышев посвященные основным аппаратам химических производств.

Современный вклад в развитие методик расчета массообменных аппаратов внесли ученые, такие как: В.В. Дельман, Н.А. Николаев, Ю.Н. Лебедева в своих трудах уделяют особое внимание развитию инновационных методов и подходов в расчете массообменных аппаратов.

Отечественные авторы, такие как В. Б. Коган, В.М. Фридман, В.В. Кафаров в своем справочнике "Равновесие между жидкостью и паром" приводит эмпирические данные состояния равновесия для различных бинарных смесей, необходимые для построения t-x-y и x-y диаграммы и технологического расчета ректификационной колонны. А.Г. Касаткин в своем учебнике "Основные процессы и аппараты химической технологии" приводит теоретические обоснования механизмов реализации многих массообменных процессов, в том числе и ректификации. Представленные в учебном пособии А.Г. Касаткина теоретические изыскания, графические материалы, таблицы, схемы, примеры расчетов массообменных аппаратов наиболее полно описывают теоретические основы массообменных процессов.

Представленные в К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков "Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии" справочные данные необходимы для расчета массообменных аппаратов. Описанная в "Основные процессы и аппараты химической технологии:" Ю.И. Дытнерского методика расчета ректификационной колонны, рекомендации о принципах выбора и расчета массообменных аппаратов, справочные сведения, общие виды и узлы типовой аппаратуры, является хорошим подспорьем для технологического расчета колонны.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						13

1. МАТЕРИАЛЬНЫЙ РАСЧЕТ

1.1. Материальный баланс ректификационной колонны

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

Общее уравнение материального баланса [2, с. 229]:

$$F = P + W \quad (1.1)$$

где, F - массовый исход по исходной смеси, кг/с;

P - массовый исход по дистилляту, кг/с;

W - массовый исход по кубовому остатку, кг/с.

Уравнение материального баланса по легколетучему компоненту [2, с.229]:

$$F\bar{x}_f = P\bar{x}_p + W\bar{x}_w \quad (1.2)$$

где \bar{x}_f -массовая доля легколетучего компонента в смеси питания % масс.; \bar{x}_p -

массовая доля легколетучего компонента в дистилляте, % масс.; \bar{x}_w -массовая

доля легколетучего компонента в кубе, % масс.

Выражая из уравнения (1.1) массовый расход дистиллята или кубового остатка и подставляя его в уравнение (1.2) можно определить массовый расход кубового остатка или дистиллята соответственно. Подставляя полученное значение расхода в уравнение (1.1) определим недостающее значение расхода.

Таким образом [2, с.229]:

$$W = \frac{F(\bar{x}_p - \bar{x}_f)}{\bar{x}_f - \bar{x}_w} = \frac{5,625 \cdot (0,95 - 0,62)}{0,62 - 0,05} = 3,7 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$P = F - W = 5,625 - 3,7 = 1,92 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Нагрузка ректификационной колонны по пару и жидкости определяется флегмовым числом R ; его оптимальное значение можно найти путем технико-экономического расчета. Поскольку в соответствии с [2] способа определения

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					14

оптимально флегмового числа в настоящее время не существует, в соответствии с [2] произведем расчет основанный на поиске коэффициента избытка флегмы $\beta = R/R_{\min}$. Где R_{\min} - наименьшее флегмовое число:

$$R_{\min} = (x_p - y_F^*) / (y_F^* - x_F)$$

где, x_p и x_F - мольные доли легколетучего компонента соответственно в исходной смеси и дистилляте, кмоль/кмоль; y_F^* - концентрация легколетучего компонента в паре, находящемся в равновесии с исходной смесью, кмоль/кмоль смеси [2, с. 229].

Для определения флегмового числа в соответствии с рекомендацией [2, с. 229], необходим пересчет составов фаз из массовых долей в мольные.

1.2. Пересчет составов фаз из массовых долей в мольные доли

Для последующих расчетов необходимо перевести массовые доли в мольные.

Пересчет осуществляется по формуле [2, с.229]:

$$x = \frac{\bar{x} / M_{\text{HK}}}{\bar{x} / M_{\text{HK}} + \frac{1-\bar{x}}{M_{\text{BK}}}} \quad (1.3)$$

где, M_{HK} и M_{BK} - молярные массы низкокипящего и высококипящего компонентов соответственно, г/моль; x и \bar{x} - соответственно мольная и массовая доля низкокипящего компонента в исходной смеси, в кубовом остатке или дистилляте.

Низкокипящий компонент - пропилен, имеет молярную массу $M_{\text{HK}} = 42$ г/моль, высококипящий компонент - пропан, имеет молярную массу $M_{\text{BK}} = 44$ г/моль.

Осуществляем перевод массовых долей в мольные.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					15

Исходная смесь, кмоль/кмоль смеси:

$$x_F = \frac{\bar{x}_f / M_{\text{HK}}}{\bar{x}_f / M_{\text{HK}} + \frac{1 - \bar{x}_f}{M_{\text{BK}}}} = \frac{0,62 / 42}{0,62 / 42 + \frac{1 - 0,65}{44}} = 0,64 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Дистиллят, кмоль/кмоль смеси:

$$x_p = \frac{\bar{x}_p / M_{\text{HK}}}{\bar{x}_p / M_{\text{HK}} + \frac{1 - \bar{x}_p}{M_{\text{BK}}}} = \frac{0,995 / 42}{0,995 / 42 + \frac{1 - 0,995}{44}} = 0,95 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Кубовый остаток, кмоль/кмоль смеси:

$$x_w = \frac{\bar{x}_w / M_{\text{HK}}}{\bar{x}_w / M_{\text{HK}} + \frac{1 - \bar{x}_w}{M_{\text{BK}}}} = \frac{0,05 / 42}{0,05 / 42 + \frac{1 - 0,05}{44}} = 0,04 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

1.3. Построение фазовых диаграмм

В целях упрощения проектного расчета производим расчет для бинарной смеси пропан-пропилен.

Для расчета необходимого числа теоретических тарелок необходимо построение фазовых диаграмм.

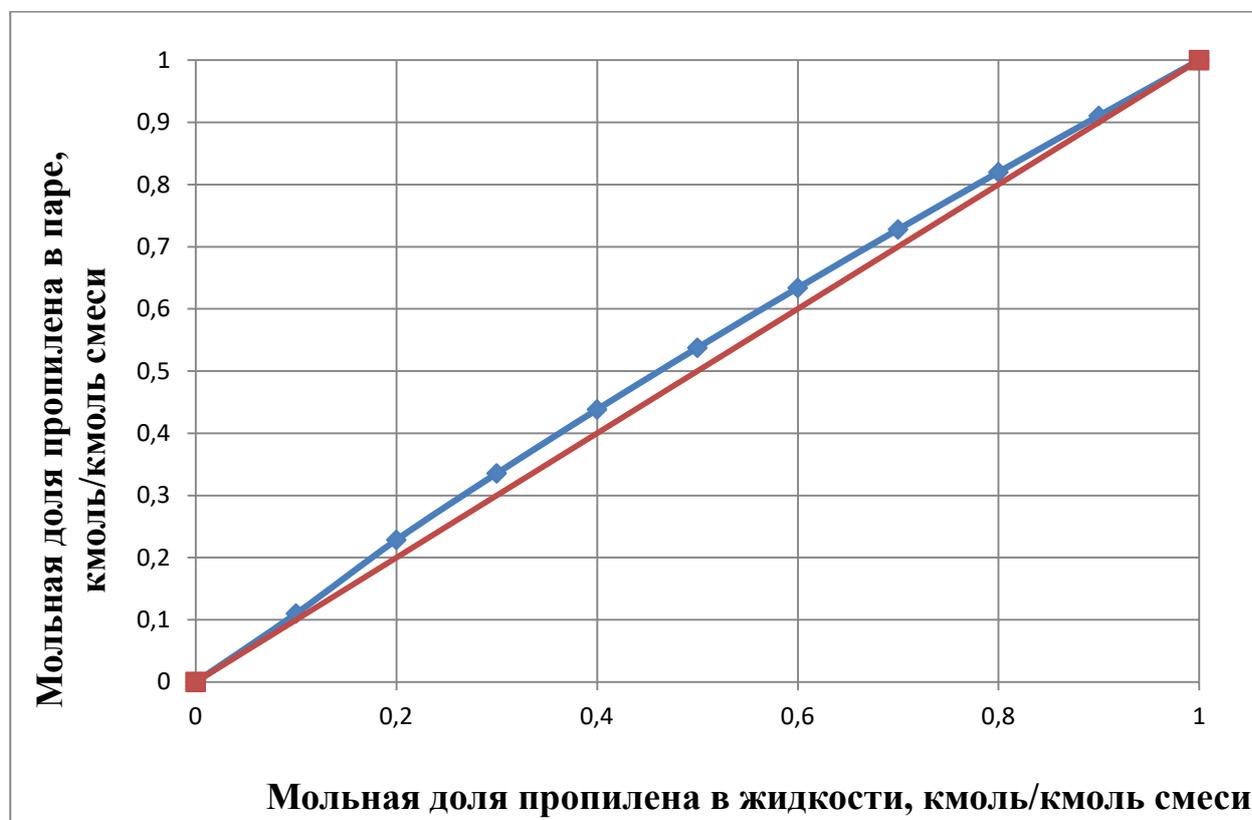
Необходимо построить t-x-y - диаграмму заданной бинарной смеси и ее линию равновесия. Для построения этих диаграмм нужно определить равновесные составы паровой и жидкой фаз разделяемой смеси. Воспользуемся справочными данными [3, с. 641].

Таблица 1. Равновесные составы паровой и жидкой фаз пропан-пропиленовой смеси.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					16

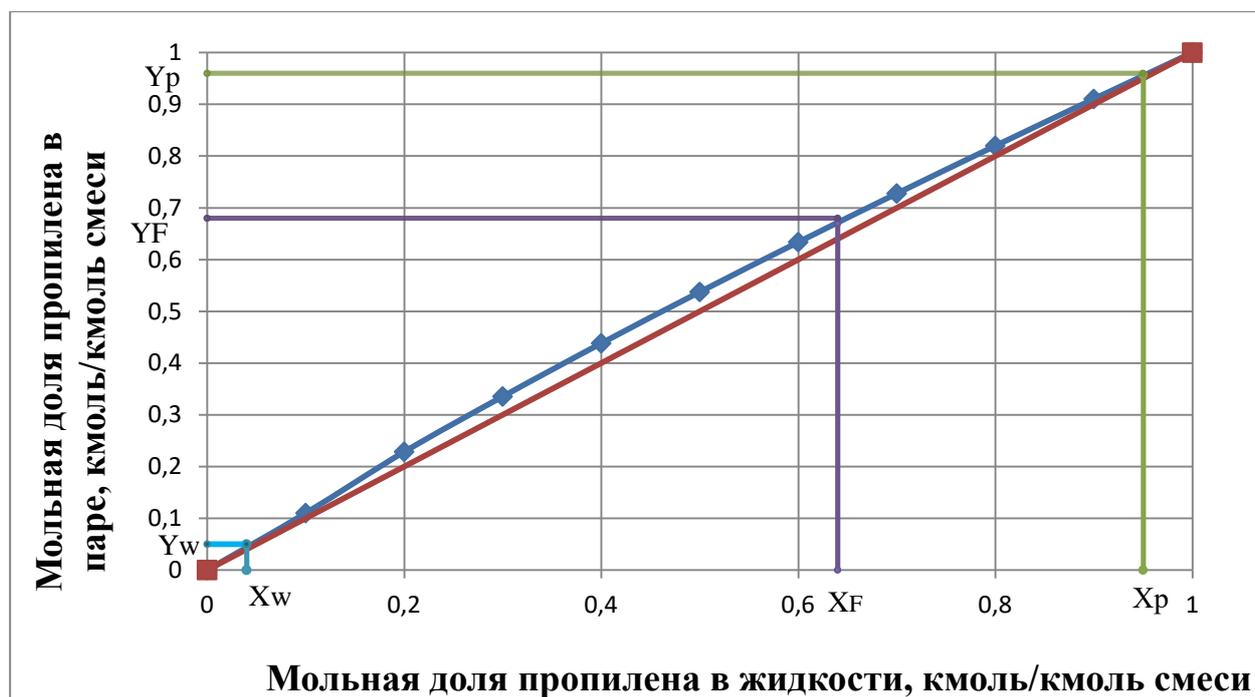
Пропан-пропиленовая смесь			
% C ₂ H ₆		мольная доля C ₂ H ₆	
в жидкости	в паре	в жидкости	в паре
10	11,02	0,10	0,1102
20	21,72	0,20	0,2172
30	32,12	0,30	0,3212
40	42,27	0,40	0,4227
50	52,23	0,50	0,5223
60	62,02	0,60	0,6202
70	71,66	0,70	0,7166
80	81,20	0,80	0,8120
90	90,63	0,90	0,9063

Рисунок 2. у-х диаграмма для бинарной смеси пропан-пропилен.



Произведем определение значений y_w , y_F и y_R , по рисунку 3.

Рисунок 3. Определение значений Y_p , Y_F и Y_w по у-х диаграмма для бинарной смеси пропан-пропилен.



Согласно рисунку 3 произвели определение значений мольных долей пропилена в паре, кмоль/кмоль смеси:

$$Y_p = 0,95;$$

$$Y_F = 0,68;$$

$$Y_w = 0,05.$$

В целях достижения наибольшей точности расчета проведем определение оптимального флегмового числа и числа теоретических тарелок графическим методом, с последующим сопоставлением результатов с количеством тарелок реально существующей колонны.

1.4. Определение рабочего флегмового числа

Определяем оптимальное рабочее флегмовое число графическим методом, для этого:

Определяем минимальное флегмовое число по формуле [2, с. 229]:

Для каждого значения R на y-x диаграмме строим рабочие линии укрепляющей и исчерпывающей частей колонны по уравнениям [2, с.230]:

для укрепляющей части:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_p}{R+1} \quad (1.6)$$

для исчерпывающей части:

$$y = \frac{R+F}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_w \quad (1.7)$$

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

Рассчитаем число В:

$$B_1 = \frac{x_p}{R_1 + 1} = \frac{0,95}{7,42 + 1} = 0,112;$$

$$B_2 = \frac{x_p}{R_1 + 1} = \frac{0,95}{8,3 + 1} = 0,102;$$

$$B_3 = \frac{x_p}{R_2 + 1} = \frac{0,95}{9,45 + 1} = 0,09;$$

$$B_4 = \frac{x_p}{R_3 + 1} = \frac{0,95}{10,125 + 1} = 0,085;$$

$$B_5 = \frac{x_p}{R_4 + 1} = \frac{0,95}{12,5 + 1} = 0,07;$$

$$B_6 = \frac{x_p}{R_5 + 1} = \frac{0,95}{13,5 + 1} = 0,065;$$

$$B_7 = \frac{x_p}{R_6 + 1} = \frac{0,95}{16,87 + 1} = 0,053;$$

Построим диаграммы x,y. На диаграммах отложим значения В, затем построим рабочие линии укрепляющей и исчерпывающей части колонны и нанесем линии обозначающие теоретические тарелки. По количеству ступеней изменения концентрации, определим число теоретических тарелок (N_T).

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					20

Все результаты расчетов для удобства занесены в таблицу 2.

Таблица 2. Определение оптимального рабочего флегмового числа

№ п/п	β	R	N	N(R+1)
1	1,2	8,3	132	1201
2	1,4	9,45	123	1285
3	1,5	10,125	114	1268
4	1,8	12,15	95	1250
5	2,0	13,5	86	1247
6	2,5	16,87	71	1268

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

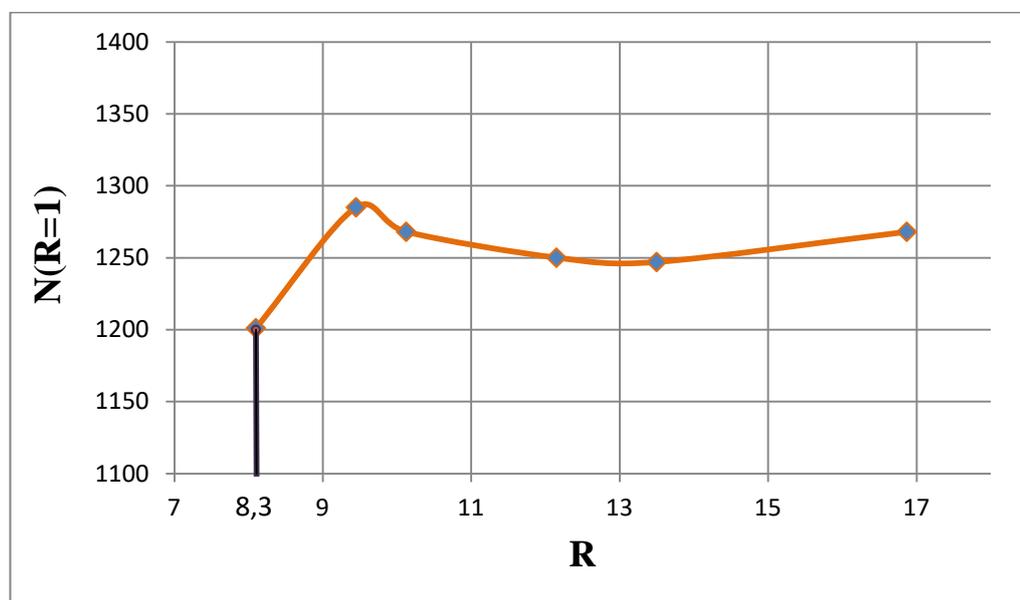


Рисунок 4. Определение рабочего флегмового числа.

Принимаем оптимальное рабочее флегмовое число $R=8,3$. Оптимальному флегмону числу соответствует число теоретических тарелок равное 132

тарелкам. Примем с запасом реальное число тарелок равное 134, что соответствует реальному аналогу проектируемой колонны.

Уравнения рабочих линий (1.6-1.7):

для верхней части колонны:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_p}{R+1} = \frac{8,3}{8,3+1} \cdot x + \frac{0,95}{8,3+1} = 0,892x + 0,102$$

для нижней части колонны:

$$y = \frac{R+F}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_w = \frac{8,3+1,51}{8,3+1} \cdot x - \frac{(1,51-1) \cdot 0,04}{8,3+1} = 1,05x - 0,002$$

где, F – относительный мольный расход питания:

$$F = \frac{x_p - x_w}{x_f - x_w} = \frac{0,95 - 0,04}{0,64 - 0,04} = 1,51$$

1.5. Массовые расходы жидкости и пара в различных частях колонны

Усредненное значение массовых расходов по жидкости для верхней и нижней частей колонны определяются из соотношений [2, с. 230]:

$$L_B = PRM_B/M_p; \quad (1.8)$$

$$L_H = \frac{PRM_H}{M_p} + \frac{FM_H}{M_f}, \quad (1.9)$$

где, M_p и M_f – мольные массы дистиллята и исходной смеси; M_B и M_H – средние мольные массы жидкости в верхней и нижней частях колонны.

Средние мольные массы жидкости в верхней и нижней частях колонны [2, с. 230]:

$$M_B = M_H x_{ср.в.} + M_B (1 - x_{ср.в.});$$

$$M_H = M_H x_{ср.н.} + M_B (1 - x_{ср.н.}) \quad (1.10)$$

где, M_M и $M_{воды}$ – мольные массы метанола и воды; $x_{ср.в.}$ и $x_{ср.н.}$ – среднемольный состав жидкости в верхней и нижней частях колонны [2, с. 230]:

										Лист
										22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$x_{\text{ср.в.}} = \frac{x_p + x_f}{2} = \frac{0,95 + 0,64}{2} = 0,795 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}};$$

$$x_{\text{ср.н.}} = \frac{x_w + x_f}{2} = \frac{0,04 + 0,64}{2} = 0,34 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Тогда:

$$M_B = 42 \cdot 0,795 + 44(1 - 0,795) = 42,41 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}};$$

$$M_H = 42 \cdot 0,34 + 44(1 - 0,34) = 43,32 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Мольная масса исходной смеси, кг/кмоль:

$$M_f = 42 \cdot 0,64 + 44(1 - 0,64) = 42,72 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Мольная масса смеси дистиллята, кг/кмоль:

$$M_p = 42 \cdot 0,95 + 44(1 - 0,95) = 42,1 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Подставляя полученные величины в уравнения (1.8) и (1.9), получим [2, с. 230] средние массовые расходы по жидкости для верхней и нижней частей колонны, кг/с:

$$L_B = \frac{1,92 \cdot 8,3 \cdot 42,41}{42,1} = 16,05 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$L_H = \frac{1,92 \cdot 8,3 \cdot 43,32}{42,1} + \frac{1,51 \cdot 43,32}{42,72} = 17,92 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Средние массовые потоки пара в верхней G_B и нижней G_H частях колонны соответственно равны [2, с. 231]:

$$G_B = P(R + 1) \frac{M'_B}{M_p};$$

$$G_H = P(R + 1) \frac{M'_H}{M_p} \quad (1.11)$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						23

Здесь $M'_в$ и $M'_н$ - средние молярные массы паров в верхней и нижней частях колонны [2, с. 239]:

$$\begin{aligned} M'_в &= M_н y_{ср.в.} + M_в (1 - y_{ср.в.}); \\ M'_н &= M_н y_{ср.н.} + M_в (1 - y_{ср.н.}) \end{aligned} \quad (1.12)$$

где,

$$\begin{aligned} y_{ср.в.} &= \frac{y_p + y_f}{2} = \frac{0,95 + 0,68}{2} = 0,815 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}; \\ y_{ср.н.} &= \frac{y_w + y_f}{2} = \frac{0,04 + 0,68}{2} = 0,36 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}. \end{aligned}$$

Тогда, средние молярные массы паров в верхней и нижней частях колонны, кг/кмоль:

$$\begin{aligned} M'_в &= 42 \cdot 0,815 + 44(1 - 0,815) = 42,3 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}; \\ M'_н &= 42 \cdot 0,36 + 44(1 - 0,36) = 43,2 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}. \end{aligned}$$

Подставив численные значения в уравнения (1.11), получим, кг/с:

$$\begin{aligned} G_в &= 1,92(8,3 + 1) \cdot \left(\frac{42,3}{42,1} \right) = 17,9 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; \\ G_н &= 1,92(8,3 + 1) \cdot \left(\frac{43,2}{42,1} \right) = 18,3 \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						24

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПАРА И ДИАМЕТРА КОЛОННЫ

Средняя температура паров в колонне согласно данным [1]:

Вверху колонны при $y_{ср.в.} = 0,815 \Rightarrow t_g = 38^\circ\text{C}$.

Внизу колонны при $y_{ср.н.} = 0,36 \Rightarrow t_n = 52^\circ\text{C}$.

Отсюда получим, плотности пара $\rho_{ув}$, $\rho_{ун}$ в верхней и нижней частях колонны, кг/м³:

$$\rho_{ув} = \frac{42,3 \cdot 273}{22,4(273 + 38)} = 1,7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{ун} = \frac{43,2 \cdot 273}{22,4(273 + 52)} = 1,63 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Примем в соответствии с [1] $\rho_{хв} = 483 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{хн} = 445 \text{ кг/м}^3$.

2.1. Расчет вязкости компонентов

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

$$\begin{aligned} \mu_{ув} &= \frac{M'_в}{y_{ср.в.} M_н / \mu_н + (1 - y_{ср.в.}) M_в / \mu'_в}; \\ \mu_{ун} &= \frac{M'_н}{y_{ср.н.} M_н / \mu'_н + (1 - y_{ср.н.}) M_в / \mu'_в} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Примем динамические коэффициенты вязкости пропана и пропилена интерполируя представленные значения в [5],[6, с.1003] равными $\mu_н = 894 \cdot 10^{-8}$ Па·с, и $\mu_в = 845 \cdot 10^{-8}$ Па·с для верхней части колонны ($t_в = 38^\circ\text{C}$), и $\mu'_н = 935 \cdot 10^{-8}$ Па·с, и $\mu'_в = 883 \cdot 10^{-8}$ Па·с ($t_в = 52^\circ\text{C}$).

Тогда, вязкости паров в верхней и нижней части колонны, мПа*с:

$$\mu_{ув} = \frac{42,37}{0,95 \cdot 42 / (894 \cdot 10^{-8}) + (1 - 0,95) \cdot 44 / (845 \cdot 10^{-8})} = 0,00889 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{ун} = \frac{43,28}{0,36 \cdot 42 / (935 \cdot 10^{-8}) + (1 - 0,36) \cdot 44 / (883 \cdot 10^{-8})} = 0,009 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Вязкости жидкости в верхней и нижней частях колонны находим по уравнениям [2, с.231]:

$$\begin{aligned} \lg\mu_{\text{XB}} &= x_{\text{срВ}} \lg\mu_{\text{H}} + (1 - x_{\text{срВ}}) \lg\mu_{\text{B}}; \\ \lg\mu_{\text{XH}} &= x_{\text{срH}} \lg\mu'_{\text{H}} + (1 - x_{\text{срH}}) \lg\mu'_{\text{B}}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Тогда, вязкости жидкости в верхней и нижней частях колонны, мПа*с:

$$\lg\mu_{\text{XB}} = 0,795 \lg(894 \cdot 10^{-8}) + (1 - 0,795) \lg(845 \cdot 10^{-8});$$

$$\mu_{\text{XB}} = 0,0089 \text{ мПа} \cdot \text{с};$$

$$\lg\mu_{\text{XH}} = 0,34 \lg(935 \cdot 10^{-8}) + (1 - 0,34) \lg(883 \cdot 10^{-8});$$

$$\mu_{\text{XH}} = 0,009 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

2.2. Скорость пара и диаметр колонны

В соответствии с рекомендацией [2, с. 237] произведем расчет допустимой скорости паров по уравнению:

$$\omega = 0,05 \sqrt{\rho_{\text{X}}/\rho_{\text{Y}}}; \quad (2.5)$$

Рабочая скорость в верхней и нижней частях колонны соответственно равна, м/с:

$$\omega_{\text{B}} = 0,05 \sqrt{\rho_{\text{XB}}/\rho_{\text{YB}}} = 0,05 \sqrt{483,4/1,7} = 0,86 \frac{\text{M}}{\text{C}};$$

$$\omega_{\text{H}} = 0,05 \sqrt{\rho_{\text{XH}}/\rho_{\text{YH}}} = 0,05 \sqrt{445/1,63} = 0,82 \frac{\text{M}}{\text{C}}.$$

В целях интенсификации процесса тепло- и массообмена, из экономических соображений для уменьшения габаритных размеров колонны, до значений действующей аналогичной проектируемой колонне, примем рабочую скорость в верхней и нижней части колонны равной соответственно: $\omega_{\text{B}}=1,4$ м/с, $\omega_{\text{H}}=1,3$ м/с [2, с. 197]. Ориентировочный диаметр колонны определяют из уравнения расхода в соответствии с рекомендацией [2, с. 238]:

$$d = \sqrt{4G/(\pi\omega\rho_{y.cp})}. \quad (2.6)$$

Как правило, несмотря на разницу в рассчитанных диаметрах верхней и нижней частей колонны изготавливают колонну единого диаметра, равного большему из рассчитанных [2, с.231].

Поскольку скорости $\omega_{\text{в}}$ и $\omega_{\text{н}}$ соизмеримы и мало отличаются друг от друга, в соответствии с рекомендацией [2, с.238] в качестве расчетной примем среднюю скорость паров, м/с:

$$\omega = \frac{1,3 + 1,4}{2} = 1,35 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Поскольку массовые потоки в верхней и нижней части колонны соизмеримы, в соответствии с рекомендацией [2, с.238] в качестве расчетного значения массового потока примем среднее значение потоков $G_{\text{в}}$ и $G_{\text{н}}$, кг/с:

$$G = \frac{17,7 + 18,3}{2} = 18 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Поскольку плотность паров в верхней и нижней части колонны соизмеримы, в соответствии с рекомендацией [2, с.238] в качестве расчетного значения плотности паров примем среднюю плотность паров $\rho_{\text{ув}}$ и $\rho_{\text{ун}}$, кг/м³:

$$\rho_y = \frac{\rho_{\text{ув}} + \rho_{\text{ун}}}{2} = \frac{1,7 + 1,63}{2} = 1,665 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Диаметр колонны, м:

$$d = \sqrt{4 \cdot 18 / (3,14 \cdot 1,35 \cdot 1,665)} = 3,193 \text{ м}.$$

В соответствии с рекомендацией [2, с.238] о необходимости выбора исполнительной величины диаметра колонны из стандартных значений представленных в [2, с.197] в качестве исполнительного диаметра проектируемой колонны примем: $d_{\text{ст}}=3,2$ м.

Тогда в соответствии с [2, с.238] рабочая скорость пара, м/с:

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					27

$$\omega = \omega_{cp} \left(\frac{d}{d_{ct}} \right)^2 = 1,35 \cdot \left(\frac{3,193}{3,2} \right)^2 = 1,34 \frac{m}{c}$$

В соответствии с рекомендациями [2, с. 214] в качестве исполнительного типа тарелки принимаем ситчатую тарелку. Для аппаратов работающих по давлением в соответствии с таблицей 1, ОСТ 26-805-73 рекомендовано использование ситчатых разборных однопоточных тарелок. Для колонны диаметром 3200 мм из приведенных стандартных значений таблицы 1, ОСТ 26-805-73 примем ситчатую тарелку типа ТС-Р2 со следующими конструктивными параметрами принятыми в соответствии с таблицей 2, ОСТ 26-805-73 [7]:

Таблица 3. Основные параметры тарелки ТС-Р2 по ОСТ 26-805-73[7].

Свободное сечение колонны, м ²	Рабочее сечение тарелки F _а , м ²	Относительное свободное сечение тарелки F _с , %	Сечение перелива, F _{сл} м ²	Относительная площадь перелива F _{сл} /F _к ×100 %
8,040	5,030	5%	1,505	18,70
L _{сл} , м	Масса, кг			
2,740	255,5			

Примем диаметр отверстий равным 3 мм, шаг между отверстиями 10 мм, в соответствии с рекомендацией [2, с.216]: d_{отв} = 0,003 м, t = 0,01 м.

В соответствии с рекомендацией [2, с.238] произведем расчет скорости пара в рабочем сечении тарелки, м/с:

$$\omega_T = \omega \cdot 0,785 \cdot \frac{d^2}{S_T} = \frac{1,35 \cdot 0,785 \cdot 3,2^2}{5,030} = 2,15 \frac{m}{c}$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ КОЛОННЫ

3.1. Расчет высоты светлого слоя жидкости на тарелке и паросодержания барботажного слоя

Высоту слоя жидкости для ситчатых тарелок рассчитаем в соответствии с рекомендацией [2, с. 240] по уравнению :

$$h_0 = 0,787q^{0,2} \cdot h_{пер}^{0,56} \cdot \omega_T^m \cdot [1 - 0,31 \exp(-0,11 \cdot \mu_x)] \cdot \left(\frac{\sigma_H}{\sigma_B}\right)^{0,09} \quad (3.1)$$

где, $h_{пер}$ - высота переливной перегородки, м ; $q=L/(\rho_x L_{сл})$ - удельный расход жидкости на 1 м сливной перегородки, м²/с; $h_{пер}$ - высота переливной перегородки, м; σ_H и σ_B - поверхностное натяжение пропилена и пропана в колонне, т - расчетный коэффициент, м.

Примем в соответствии с рекомендацией [2, с. 216] высоту переливной перегородки равной 40 мм (0,04 м).

Расчетный коэффициент $m = 0,05 - 4,6 \cdot h_{пер} = 0,05 - 4,6 \cdot 0,04 = -0,134$ м

Примем поверхностное натяжение пропилена и пропана интерполируя данные [6, 8] в верхней части колонны ($t= 38^\circ\text{C}$), Н/м:

$$\sigma_B = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м} ; \sigma_H = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

и в нижней части колонны ($t= 52^\circ\text{C}$), Н/м :

$$\sigma_B = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м} ; \sigma_H = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Удельный расход жидкости на 1 м сливной перегородки для верхней части колонны [2, с. 240], м²/с:

$$q_B = \frac{L_B}{\rho_{XB} \cdot L_{сл}} = \frac{16,06}{483 \cdot 2,740} = 0,0121 \frac{\text{м}^2}{\text{с}} ;$$

Для нижней части колонны:

$$q_H = \frac{L_H}{\rho_{XH} \cdot L_{сл}} = \frac{17,92}{445 \cdot 2,740} = 0,0146 \frac{\text{м}^2}{\text{с}} ;$$

									Лист
									29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Тогда, высота слоя жидкости для верхней и нижней частей колонны соответственно, м:

$$h_{0В} = 0,787 \cdot 0,0146^2 \cdot 0,04^{0,56} \cdot 2,15^{-0,134} \cdot [1 - 0,31 \exp(-0,11 \cdot 0,0089)] \cdot \left(\frac{6 \cdot 10^{-3}}{6,1 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,09} = 0,0170 \text{ м.}$$

$$h_{0Н} = 0,787 \cdot 0,0146^2 \cdot 0,04^{0,56} \cdot 2,15^{-0,134} \cdot [1 - 0,31 \exp(-0,11 \cdot 0,009)] \cdot \left(\frac{3,6 \cdot 10^{-3}}{3,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,09} = 0,0171 \text{ м.}$$

Поскольку высота слоя в верхней и нижней части колонны соизмеримы, в соответствии с рекомендацией [2, с.240] в качестве расчетного значения высоты слоя примем среднее значение $h_{0В}$ и $h_{0Н}$, м:

$$h_0 = \frac{h_{0Н} + h_{0В}}{2} = 0,01705 \text{ м}$$

Примем $h_0 = 0,017$ м.

Паросодержание барботажного слоя ε находят по формуле [2, с. 240]:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{Fr}}{1 + \sqrt{Fr}}, \quad (3.2)$$

где, безразмерный расчетный коэффициент, Fr :

$$Fr = \frac{\omega_m^2}{g \cdot h_0}$$

Для верхней и нижней частей колонны соответственно [2, с. 240]:

$$Fr_{В} = \frac{2,15^2}{9,81 \cdot 0,017} = 27,71; \quad Fr_{Н} = \frac{2,15^2}{9,81 \cdot 0,017} = 27,71.$$

Тогда, паросодержание барботажного слоя ε [2, с. 240]:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{27,71}}{1 + \sqrt{27,71}} = 0,84$$

3.2. Определение коэффициентов массопередачи и высоты колонны

									Лист
									30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

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

Коэффициент диффузии в жидкости при средней температуре t равен:

$$D_x = D_{x20}[1 + b(t - 20)] \quad (3.3)$$

Коэффициент диффузии в жидкости при 20°C в соответствии с рекомендацией [2, с.234] приближенно возможно рассчитать согласно формуле:

$$D_{x20} = \frac{10^{-6} \sqrt{1/M_H + 1/M_B}}{AB \sqrt{\mu_x} (v_H^{1/3} + v_B^{1/3})^2}, \quad (3.4)$$

где, A, B - коэффициенты, зависящие от свойств растворенного вещества и растворителя; v_H, v_B - мольные объемы компонентов в жидком состоянии при температуре кипения, $\text{см}^3/\text{моль}$; μ_x - вязкость жидкости, $\text{мПа}\cdot\text{с}$.

Температурный коэффициент b определяется по формуле [2, с. 235]:

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu_x}}{\sqrt[3]{\rho_x}} \quad (3.5)$$

Тогда:

$$b_B = \frac{0,2\sqrt{0,0089}}{\sqrt[3]{483}} = 0,00030;$$

$$b_H = \frac{0,2\sqrt{0,009}}{\sqrt[3]{445}} = 0,00032.$$

Мольные объемы компонентов в жидком состоянии при температуре кипения, примем в соответствии с [9] $\text{см}^3/\text{моль}$:

$$v_B = 72,0 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}};$$

Примем в соответствии с данными [10]

$$v_H = 81,8 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}$$

										Лист
										31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Коэффициент диффузии в жидкости для верхней и нижней части колонны при 20 °С соответственно равен [2, с. 235], м²/с:

$$D_{\text{хв}20} = \frac{10^{-6} \sqrt{\frac{1}{42} + \frac{1}{44}}}{1 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,0089(81,8^{1/3} + 72^{1/3})^2}} = 2,62 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$D_{\text{хн}20} = \frac{10^{-6} \sqrt{\frac{1}{42} + \frac{1}{44}}}{1 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,009(81,8^{1/3} + 72^{1/3})^2}} = 2,61 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Коэффициент диффузии в жидкости верхней и нижней части колонны соответственно, м²/с:

$$D_{\text{хв}} = 2,61 \cdot 10^{-6} [1 + 0,00030(38 - 20)] = 2,62 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$D_{\text{хн}} = 2,61 \cdot 10^{-6} [1 + 0,00031(52 - 20)] = 2,63 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

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

$$D_y = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} T^{3/2}}{P(v_M^{1/3} + v_B^{1/3})^2} \sqrt{1/M_M + 1/M_B}, \quad (3.6)$$

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

P - абсолютное давление в колонне, Па.

Коэффициент диффузии в паровой фазе, в верхней и нижней частях колонны:

$$D_{\text{ув}} = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} \cdot 311^{3/2}}{2,1 \cdot 10^5 (81,8^{1/3} + 72^{1/3})^2} \sqrt{1/42 + 1/44} = 5,9 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$D_{\text{ув}} = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} \cdot 325^{3/2}}{2,1 \cdot 10^5 (81,8^{1/3} + 72^{1/3})^2} \sqrt{1/42 + 1/44} = 6,3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Уравнения для расчета коэффициентов массоотдачи, для тарелок барботажного типа имеют вид [2, с. 239]:

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					32

$$\beta_x = 6,24 \cdot 10^5 D_x^{0,5} \left(\frac{U}{1 - \varepsilon} \right)^{0,5} h_0 \left(\frac{\mu_y}{\mu_x + \mu_y} \right)^{0,5} \quad (3.7)$$

$$\beta_y = 6,24 \cdot 10^5 F_c D_y^{0,5} \left(\frac{\omega_T}{\varepsilon} \right)^{0,5} h_0 \left(\frac{\mu_y}{\mu_x + \mu_y} \right)^{0,5} \quad (3.8)$$

где, U - плотность орошения, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:

$$U_B = \frac{L_B}{\rho_{XB} \cdot 0,785 d^2} = \frac{16,06}{483 \cdot 0,785 \cdot 3,2^2} = 0,0041 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

$$U_H = \frac{L_H}{\rho_{XB} \cdot 0,785 d^2} = \frac{17,92}{445 \cdot 0,785 \cdot 3,2^2} = 0,0050 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, для верхней и нижней частей колонны соответственно:

$$\beta_{XB} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot (2,62 \cdot 10^{-6})^{0,5} \left(\frac{0,0041}{1 - 0,84} \right)^{0,5} \cdot 0,01705 \cdot \left(\frac{0,00889}{0,0089 + 0,00889} \right)^{0,5}$$

$$\beta_{XB} = 0,00190 \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

$$\beta_{XH} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot (2,63 \cdot 10^{-6})^{0,5} \left(\frac{0,005}{1 - 0,84} \right)^{0,5} \cdot 0,01705 \left(\frac{0,009}{0,009 + 0,009} \right)^{0,5};$$

$$\beta_{XH} = 0,00191 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Коэффициент массоотдачи в паровой фазе, для верхней и нижней частей колонны соответственно:

$$\beta_{YB} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot 0,04 \cdot (5,9 \cdot 10^{-5})^{0,5} \left(\frac{2,15}{0,84} \right)^{0,5} 0,01705 \left(\frac{0,00889}{0,0089 + 0,00889} \right)^{0,5}$$

$$\beta_{YB} = 4,95 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\beta_{YH} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot 0,04 \cdot (6,3 \cdot 10^{-4})^{0,5} \left(\frac{2,15}{0,84} \right)^{0,5} \cdot 0,01705 \left(\frac{0,009}{0,009 + 0,009} \right)^{0,5}$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					33

$$\beta_{\text{yH}} = 4,96 \frac{\text{M}}{\text{c}}$$

Произведем пересчет коэффициентов массоотдачи в жидкой и паровой фазе для верхней и нижней части колонны в кмоль/(м²·с), соответственно:

$$\beta_{\text{xB}} = 0,00190 \cdot \frac{\rho_{\text{xB}}}{M_{\text{B}}} = 0,089 \cdot \frac{483}{42,41} = 1,01 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2} \cdot \text{с};$$

$$\beta_{\text{yB}} = 4,95 \cdot \frac{\rho_{\text{yB}}}{M'_{\text{B}}} = 3,18 \cdot \frac{1,665}{42,3} = 0,125 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2} \cdot \text{с}.$$

$$\beta_{\text{xH}} = 0,00191 \cdot \frac{\rho_{\text{xH}}}{M_{\text{H}}} = 0,144 \cdot \frac{445}{43,32} = 1,479 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2} \cdot \text{с};$$

$$\beta_{\text{yH}} = 4,96 \cdot \frac{\rho_{\text{yH}}}{M'_{\text{H}}} = 3,62 \cdot \frac{1,665}{43,2} = 0,139 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2} \cdot \text{с}.$$

Коэффициенты массоотдачи, рассчитанные по средним значениям скоростей и физических свойств паровой и жидкой фаз, постоянны для верхней и нижней частей колонны. В то же время коэффициент массопередачи - величина переменная, зависящая от кривизны линии равновесия, т.е. от коэффициента распределения. Поэтому для определения данных, по которым строится кинетическая линия, необходимо вычислить несколько значений коэффициента массопередачи в интервале изменения состава жидкости от x_w до x_p .

Примем $x=0,04$ кмоль/кмоль смеси. Коэффициент распределения компонента по фазам (тангенс угла наклона равновесной линии в этой точке) в соответствии с рисунком 3 п.п. 1.3, $m = \text{tga} = \frac{0,05}{0,04} = 1,25$.

Коэффициент массопередачи вычисляем в соответствии с рекомендацией [2, с.241] по верхней части колонны, кмоль/(м²·с):

$$K_{\text{yB}} = \frac{1}{1/\beta_{\text{yB}} + m/\beta_{\text{xB}}} = \frac{1}{1/0,125 + 1,25/1,01} = 0,108 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					34

$$K_{\text{yH}} = \frac{1}{1/\beta_{\text{yH}} + m/\beta_{\text{xH}}} = \frac{1}{1/0,139 + 1,25/1,479} = 0,124 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

Общее число единиц переноса на тарелку находим по уравнению, [2, с.241]:

$$n_{\text{oy}} = \frac{K_y M'}{\omega_T \rho_y} = \frac{0,108 \cdot 42,3}{2,15 \cdot 1,665} = 1,27$$

Локальная эффективность равна, [2, с.241]:

$$E_y = 1 - e^{-n_{\text{oy}}} = 1 - e^{-1,27} = 0,716.$$

Для определения эффективности по Мэрффри необходимо рассчитать фактор массопередачи λ , долю байпасирующей жидкости θ , число ячеек полного перемешивания S и межтарельчатый унос e .

Фактор массопередачи для нижней части колонны, [2, с.241]:

$$\lambda = \frac{m(R + 1)}{R} = \frac{4 \cdot (8,3 + 1)}{8,3} = 4,48$$

В соответствии с рисунком II-23 [11, с.99] примем долю байпасирующей жидкости принимаем $\theta = 0,22$. Для определения числа ячеек полного перемешивания как отношение длины пути жидкости на тарелке l_T к длине l , в соответствии с рекомендацией [2, с.241], примем $l=400$ мм. Тогда длина пути жидкости, м:

$$l_T = \sqrt{d^2 - b^2} = \sqrt{3,2^2 - 2,74^2} = 1,65 \text{ м}$$

Тогда число ячеек полного перемешивания на тарелке равно:

$$S = \frac{1,65}{0,35} \approx 4,72.$$

Коэффициент m , учитывающий влияние на унос физических свойств жидкости и пара, определяют по уравнению [2, с.241]:

$$m = 1,15 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\sigma_x}{\rho_y} \right)^{0,295} \cdot \left(\frac{\rho_x - \rho_y}{\mu_y} \right)^{0,425}, \quad (3.9)$$

откуда

$$m = 1,15 \cdot 10^{-3} \left(\frac{6,1 \cdot 10^{-3}}{1,665} \right)^{0,295} \cdot \left(\frac{483 - 1,665}{0,00889 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,425} = 0,625.$$

Высота сепарационного пространства равна расстоянию между верхним уровнем барботажного слоя и плоскостью тарелки, расположенной выше [2, с.242]:

$$H_c = H - h_{\pi}. \quad (3.10)$$

Примем межтарельчатое расстояние, согласно рекомендации для колонн диаметром 3200 мм [3, с.211], $H=500$ мм. Высота барботажного слоя [2, с.242], м:

$$h_{\pi} = h_0 / (1 - \varepsilon) = 0,01705 / (1 - 0,84) = 0,106 \text{ м.}$$

Тогда, высота сепарационного пространства, м:

$$H_c = 0,5 - 0,106 = 0,394 \text{ м}$$

В соответствии с рисунком 6.7 [2, с. 242] относительный унос жидкости e для ситчатых тарелок при соотношении $\omega_T / (mH_c)$:

$$\omega_T / (mH_c) = 2,15 / (0,625 \cdot 0,394) = 8,7$$

$$e = 0,2 \text{ кг/кг}$$

Высоту тарельчатой ректификационной колонны определим по формуле [2, с. 244]:

$$H_k = (N-1) \cdot h + H_{\text{MT}} + z_{\text{B}} + z_{\text{H}},$$

где h - расстояние между тарелками, м; z_{B} и z_{H} - расстояние соответственно между верхней тарелкой и крышкой колонны и между днищем колонны и нижней тарелкой, м. В соответствии с рекомендацией [2, с. 235], примем значения z_{B} и z_{H} равными 1,4 м и 2,5 м соответственно.

Расстояние между тарелками в соответствии рекомендацией [2, с. 211] $h=0,5$ м. Согласно рекомендации [2, с.211], люк-лаз рекомендуется располагать

									Лист
									36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

4. РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТАРЕЛОК КОЛОННЫ

В соответствии с рекомендаций [2, с. 244] гидравлическое сопротивление тарелок колонны определяют по формуле:

$$\Delta P_k = \Delta P_B N_B + \Delta P_H N_H, \quad (4.1)$$

где ΔP_B и ΔP_H – гидравлическое сопротивление тарелки верхней и нижней части колонны, Па.

Полное гидравлическое сопротивление одной тарелки определяется по формуле [2, с. 245]:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_{ж} + \Delta P_{\sigma} \quad (4.2)$$

где, ΔP_c - сопротивление сухой тарелки Па;

$\Delta P_{ж}$ - сопротивление слоя жидкости Па;

ΔP_{σ} - сопротивление за счет поверхностного натяжения, Па.

Сопротивление сухой (неорошаемой) тарелки определяется по формуле [2, с. 245]:

$$\Delta P_c = \frac{\xi \cdot \omega^2 \cdot \rho_n}{2 \cdot F_c^2} \quad (4.3)$$

где ξ - коэффициент сопротивления сухих тарелок (принимается в соответствии с рекомендацией [2, с.210] для ситчатых тарелок 1,5);

ρ_n - средняя плотность пара в среднем сечении для соответствующей части колонны, кг/м³;

F_c - относительное свободное сечение тарелки в соответствии с таблицей 2, ОСТ 26-805-73, $F_c = 0.05 \cdot 8,040 = 0,402$ м²;

ω - действительная скорость пара для определенной части колонны, м/с.

Тогда сопротивление сухой тарелки, Па:

									Лист
									38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$\Delta P_c = \frac{1,5 \cdot 1,34^2 \cdot 1,665}{2 \cdot 0,402^2} = 13,87 \text{ Па}$$

Сопротивление слоя жидкости на тарелке определяется по формуле [2, с. 244]:

$$\Delta P_{ж} = \rho_{ж} g h_0 \quad (4.4)$$

где, $\rho_{ж}$ - средняя плотность жидкости в среднем сечении соответствующей части колонны, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; h_0 - высота барботажного слоя на тарелке, м.

$$\Delta P_{пв} = 9,81 \cdot 483 \cdot 0,017 = 80,54 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{пн} = 9,81 \cdot 445 \cdot 0,017 = 74,21 \text{ Па}.$$

Примем за расчетные значения поверхностного натяжения жидкости для верхней и нижней части колонны равным, Н/м:

$$\sigma_B = 6,05 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}}; \sigma_H = 3,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Гидравлическое сопротивление, обусловленное силами поверхностного натяжения для верхней и нижней частей колонны, равно соответственно, Па:

$$\Delta P_{св} = \frac{4\sigma_B}{d_{отв}} = \frac{4 \cdot 6,05 \cdot 10^{-3}}{0,003} = 8,06 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{сн} = \frac{4\sigma_H}{d_{отв}} = \frac{4 \cdot 3,7 \cdot 10^{-3}}{0,003} = 4,93 \text{ Па}.$$

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

$$\Delta P_B = 13,87 + 80,54 + 8,06 = 102,47 \text{ Па};$$

$$\Delta P_H = 13,87 + 74,21 + 4,93 = 93,01 \text{ Па}.$$

Полное гидравлическое сопротивление ректификационной колонны [2, с. 244], Па:

$$\Delta P_k = 67 \cdot 102,47 + 67 \cdot 93,01 = 13097,16 \text{ Па}$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					39

5. КОНСТРУКТИВНО-МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

5.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки, днища и крышки

Исходные данные :

Высота цилиндрической обечайки, мм	$H := 74000$
Внутренний диаметр, мм	$D := 3200$
Рабочее давление, МПа	$P := 2.1$
Расчетная температура, °С	$t_c := 70$
Годовой показатель коррозии, мм/год	$\Pi := 0.06 \quad [13 \text{ с.18}]$
Расчетный срок эксплуатации, лет	$t_B := 15$
Плотность стали при 20 °С $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho := 7800$
Плотность воды при 20 °С $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_B := 1000$

5.1.1. Выбор материала ректификационной колонны

Выбор определенной исполнительной марки стали, в соответствии с рекомендациями [14, с.37], обусловлен специфическими условиями работы, и соответственно необходимостью удовлетворения выбранной маркой стали определенных критериев, таких как хладостойкость, совместимость по агрессивности среды, доступность на рынке и сравнительная дешевизна.

В соответствии с рекомендацией [15, с.17] материал для изготовления стальных сварных аппаратов должен быть химически и коррозионно стойким в заданной среде, при рабочих параметрах, обладать хорошей свариваемостью и соответствующими прочностными и пластическими характеристиками в рабочих условиях, допускать холодную и горячую механическую обработку, а так же иметь низкую стоимость и высокую распространенность на рынке.

Рабочая среда - смесь пропана и пропанола обладает сильной коррозионной активностью, особенно в интервале температур от 10 до 40 °С. Годовой показатель коррозии низколегированных сталей в данной среде в соответствии с данными [13, с. 18] составляет от 0.1-0.3 мм/год. В качестве исполнительной марки стали выбираем низколегированную низкоуглеродистую сталь.

Поскольку проектируемая колонна будет размещена на открытой площадке в виду суровых климатических условий Сибирского региона необходимо изготовление колонны из хладостойкой стали. В качестве исполнительной марки стали выбираем сталь 09Г2С

рекомендуемую для изготовления сварной аппаратуры в химической, пищевой и других отраслях промышленности, при расчетной температуре от -70 до 300 °С. Сталь 09Г2С обладает коррозионной стойкостью в заданных условиях эксплуатации, дешевой и доступностью на рынке, хорошей свариваемостью и хладостойкостью.

5.1.2. Определение расчетных параметров и толщин стенок ректификационной колонны

Определение допускаемых напряжений при расчетной температуре, МПа:

Примем расчетную температуру стенки колонны, равной температуре среды:

$$t_p := t_c$$

$$t_{p, \min} := \max(t_c, 20) \quad t_p = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$\eta := 1$ - поправочный коэффициент, принятый в соответствии с рекомендацией [16] п.8.3. поскольку аппарат изготавливается из листового проката.

Допускаемое напряжение, определим согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 табл. А.1 интерполируя стандартные значения, с последующим округлением в меньшую сторону в пределах до 0,5 МПа в соответствии с данными рекомендациями ГОСТ Р 52857.1-2007 [16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 196 \\ 177 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_p), 0.5)$$

$\sigma = 184$ МПа - Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при расчетной температуре.

Допускаемое напряжение для стали с учетом поправочного коэффициента, принятого в соответствии с ГОСТ Р 52857.1-2007 п.8.3., [16] МПа:

$$\sigma_d := \eta \cdot (\sigma) \quad \sigma_d = 184$$

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при гидравлических испытаниях, МПа:

$$\sigma_{\text{и}} = \text{Floor}\left(\frac{R_{e20}}{n_T}, 0.5\right) \quad (1)$$

коэффициент запаса прочности, примем в соответствии с

рекомендацией ГОСТ Р 52857.1-2007 Таблица 1., равным:

$$n_T := 1.1$$

Расчетное значение предела текучести при 20 °С для стали 09Г2С примем чуть выше установленного нормативами ГОСТ Р 52857.1-2007 таблицей Б.1., в соответствии с рекомендацией [17 с.104]:

$$R_{e20} := 300 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{и} := \text{Floor}\left(\frac{R_{e20}}{n_T}, 0.5\right)$$

$$\sigma_{и} = 272.5 \text{ МПа}$$

В соответствии с рекомендацией ГОСТ Р 52857.1-2007 Таблица А.3, примем:

$$\sigma_{20} := 233 \text{ МПа} - \text{ для стали 09Г2С при температуре } t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{д} = 184 \text{ МПа, Тогда:}$$

Примем за расчетное давление наибольшее значение давления в аппарате:

$$P_p := P$$

Пробное давление при гидравлических испытаниях, МПа:

$$P_{пр} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_{д}} \quad (2)$$

$$P_{пр} = 3.324 \text{ МПа}$$

5.1.3. Расчет толщины стенок цилиндрической части аппарата из условия прочности, мм:

В соответствии с [17 с.113] и исполнительную толщину стенки цилиндрического элемента обечайки, рассчитаем по формуле:

$$S \geq S_p + c \quad (3)$$

где, s_p – расчетная толщина стенки цилиндрической части колонны.

Прибавку к расчетным толщинам вычисляем по формуле, [17 с.113], мм:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 \quad (4)$$

где c_1 – поправка на коррозию;

c_2 – поправка на минусовое отклонение;

c_3 – поправка на утонение стенки элемента сосуда при технических операциях;

Прибавки к расчетной толщине стенки, мм:

$c_k := P \cdot t_v$ для компенсации коррозии центральной обечайки ;

$$c_k = 0.9 \text{ мм}$$

Прибавку к расчетной толщине для компенсации эрозии, примем:

$$c_э := 0$$

Т.к. согласно рекомендациям [17, с.19], и исходным данным отсутствуют высокие скорости среды (для газа более 100 м/с), отсутствуют абразивные частицы и ударное действие среды.

$$c_1 := c_k + c_э$$

$$c_1 = 0.9$$

В соответствии с рекомендацией [18, с. 211] минимальная толщина стенок корпуса колонного аппарата при диаметре 3200 мм, должна составлять не менее 14 мм. В соответствии с таблицей 4., ГОСТ 19903-74 примем:

$$c_2 := 0.8$$

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки ректификационной колонны, не происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией ГОСТ Р 52857.1-2007 примем:

$$c_3 := 0$$

$$c := c_1 + c_2 + c_3$$

$$c = 1.7 \text{ мм}$$

Примем:

$$c := 2 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности продольных сварочных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, по таблицы Д.1. ГОСТ Р 52857.1-2007, в соответствии с рекомендацией [17 с.252]:

$$\phi_p := 1$$

Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки в соответствии с ГОСТ Р 52857.2-2007 [19]:

$$s_p := \max \left(\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} \right), \left(\frac{P_{пр} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p - P_{пр}} \right) \right) = 19.637 \text{ мм}$$

$$c_0 := 0$$

$$S := s_p + c_0$$

$$S = 21.637 \text{ мм}$$

В соответствии с рекомендацией [5, с. 211] минимальная толщина стенок корпуса колонного аппарата при диаметре 3200 мм, должна составлять не менее 14 мм.

$$S_1 := 22 \text{ мм}$$

5.1.4. Расчёт цилиндрической обечайки на устойчивость

В рабочих условиях

Коэффициент запаса устойчивости, примем в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 52857.1-2007 [16], для рабочих условий:

$$n_y := 2.4$$

Допускаемое давление из условия прочности рассчитывается в соответствии с рекомендациями [1, с. 253], МПа:

$$P_{дп} := 2 \cdot \sigma_d \cdot \frac{(S - c_0)}{D + S - c_0} \quad P_{дп} = 2.286 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости, МПа:

$$B_1 := \min \left[1, 9.45 \cdot \frac{D}{H} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - c_0)}} \right] \quad B_1 = 1$$

$$P_{дЕ} := \left(\frac{2.08 \cdot E \cdot 10^{-5} \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot H} \right) \cdot \left[\frac{100 \cdot (S - c_0)}{D} \right]^{2.5}$$

$$P_{дЕ} = 2.13 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление рассчитывается в соответствии с рекомендацией [1, с. 253], МПа:

$$P''_d := \frac{P_{дп}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{дп}}{P_{дЕ}} \right)^2}}$$

$$R''_d = 1.558 \text{ МПа}$$

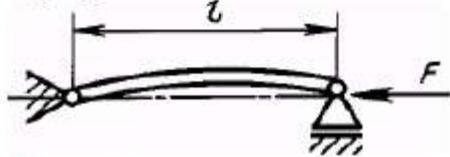
Осевое сжимающие усилие от давления на днище рассчитываем в соответствии с рекомендацией [17, с. 253], МН:

$$F' := 0.25 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D^2 - D_y^2) \cdot P_{ат} = -6.988 \times 10^7 \text{ МН}$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие из условия прочности:

$$F_{d\sigma} := \pi \cdot [D + (S - c)] \cdot (S - c) \cdot \sigma_d$$

При расчетной схеме



$$l_{пр} := H_p$$

$$l_p := H$$

Гибкость

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot l_p}{D + (S - c)} \quad \lambda = 8.789$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие в пределах упругости из условия устойчивости, МН:

$$F_{dE} := \begin{cases} \text{if } \frac{H}{D} \geq 10 \\ \left. \begin{array}{l} F_{dE2} \leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^{-6} \cdot [D + (S - c)] \cdot (S - c) \cdot E}{n_y} \\ F_{dE1} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - c)}{D}\right]^{2.5} \\ F_{dE} \leftarrow \min(F_{dE1}, F_{dE2}) \end{array} \right\} \\ F_{dE} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(S - c)}{D}\right]^{2.5} \quad \text{otherwise} \\ F_{dE} \end{cases}$$

$$F_{dE} = 812.837 \text{ МН}$$

$$F_d := \frac{F_{d\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{d\sigma}}{F_{dE}}\right)^2}} \quad F_d = 812.837 \text{ МН}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{Prov_2} := \begin{cases} \text{"условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_{ат}}{P''_д} + \frac{F'}{F_д} \leq 1 \\ \text{"условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Prov_2} = \text{"условие устойчивости выполняется"}}$$

Проверка условия применимости формул:

В соответствии с рекомендацией [17, с. 33] и ГОСТ 52857.2-2007 [19]

условие применимости формул выполняется в случае если $\frac{S_1 - c_1}{D} < 0.1$.

$$\frac{S_1 - c_1}{D} = 6.25 \times 10^{-3}$$

$$6.25 \times 10^{-3} < 0.1$$

В условиях испытаний

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости:

$$P_{д.и} := \frac{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p \cdot (S_1 - c_1)}{D + 0.5(S_1 - c_1)} = 3.396 \text{ МПа}$$

$$P_{пр} = 3.324 \text{ МПа}$$

$$P_{д.и} > P_{пр}$$

Исполнительная толщина стенки ректификационной колонны обеспечивает прочность сосуда в заданных эксплуатационных условиях, как в рабочих так и в условиях испытаний, т.к. рабочее давление меньше рассчитанного допустимого давления при заданной толщине стенки.

Осевое сжимающие усилие от давления, МН:

$$F_{и} := 0.25 \cdot 10^{-6} \pi \cdot (D^2 - D_y^2) \cdot (P_{пр}) = -2.323 \times 10^3 \text{ МН}$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие из условия прочности, МН:

$$F_{и.d\sigma} := \pi \cdot 10^{-6} \cdot [D + (S_1 - c_1)] \cdot (S_1 - c_1) \cdot \sigma_{и} \quad F_{и.d\sigma} = 55.132 \text{ МН}$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие в пределах упругости из

условия устойчивости, МН:

$$F_{и.дE} := \begin{cases} \text{if } \frac{H_{..}}{D} \geq 10 \\ \left. \begin{aligned} F_{дE2} &\leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^{-6} \cdot [D + (S. - c.)] \cdot (S. - c.) \cdot E_{20}}{n_y} \\ F_{дE1} &\leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E_{20}}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(S. - c.)}{D}\right]^{2.5} \\ F_{дE} &\leftarrow \min(F_{дE1}, F_{дE2}) \end{aligned} \right\} \\ F_{дE} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E_{20}}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(S. - c.)}{D}\right]^{2.5} \quad \text{otherwise} \\ F_{дE} \end{cases}$$

$$F_{и.дE} = 78.016 \text{ МН}$$

$$F_{и.д} := \frac{F_{и.д\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{и.д\sigma}}{F_{и.дE}}\right)^2}} \quad F_{и.д} = 45.024 \text{ МН}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{Prov}_3 := \begin{cases} \text{"условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_{д.и}}{P_{д.и}} + \frac{F_{и}}{F_{и.д}} \leq 1 \\ \text{"условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Prov}_3 = \text{"условие устойчивости выполняется"}}$$

Выбор листового проката металла

Расчет необходимой длины листового проката ,мм:

$$b := \pi \cdot D$$

$$b = 1.005 \times 10^4 \text{ мм}$$

В соответствии с ГОСТ 19903-74 [20], таблица 1 производим изготовление центральной обечайки при толщине листового проката 22 мм из 24 листовых прокатов размерами 10000x2800 мм длины на ширину соответственно.

Изготовление и сварка детали

Цилиндрическую часть обечайки, изготавливаем сваркой из отдельных листовых прокатов, в соответствии с рекомендацией ГОСТ Р 52857.1-2007 [16].

Стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%.

Сварку проводим с последующей проверкой качества швов внешним осмотром, ультразвуковой дефектоскопией в соответствии с рекомендацией ГОСТ Р 52857.1-2007 [16].

Выбор исполнительного типа крышки и днища

В соответствии с рекомендацией [21, с.439], о целесообразности использования эллиптической формы днища и крышки в вертикальных аппаратах колонного типа, с точки зрения восприятия давления столба жидкости в качестве исполнительного типа крышки и днища выбираем эллиптическую форму отличающуюся выгодными технико-экономическими показателями.

Эллиптические днища изготавливают горячей штамповкой и могут применяться в аппаратах работающих под избыточным давлением до 10 МПа.

5.2. Расчет толщины стенки эллиптической крышки и днища, мм

Так как, эллиптическая крышка подвергается воздействию только внутреннего давления, то соответственно рассчитывать толщину ее стенки нужно только исходя из условия прочности [17, с.253].

Высота эллиптической крышки должна быть найдена из допуска в [21].

$$0.2 < \frac{h}{D} < 0.5$$

В соответствии с рекомендациями ГОСТ 6533-78 [21]:

$$h_H := 0.25 \cdot D$$

где h_H - это высота эллиптической крышки, мм.

В соответствии с таблицей 1., ГОСТ 6533-78 [21] выберем из стандартных значений высоту эллиптической части обечайки, удовлетворяющей условию.

Тогда :

$$h_H = 800 \text{ мм}$$

$$\frac{h_H}{D} = 0.25$$

Рассчитаем исполнительную толщину стенки, Исполнительная толщина стенки с учетом прибавки к расчетным толщинам, в соответствии с ГОСТ Р 52857.2-2007 мм:

$$s_{э.р} := \max \left(\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi_p - 0.5P} \right) \right. \\ \left. \left(\frac{P_{пр} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p - 0.5P_{пр}} \right) \right)$$

$$s_{э.р} = 19.577 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки с учетом прибавки к расчетным толщинам, в соответствии с ГОСТ Р 52857.2-2007 и [3, с. 19]:

$c_{.0} := 2 \text{ мм}$ - прибавка на утонение при технологических операциях не более 15% в соответствии с ГОСТ 24306-80 [23].

$$s_{э.} := (s_{э.р}) + c_{.} + c_{.0}$$

$$s_{э.} = 23.577 \text{ мм}$$

Примем:

$$s_{э.} := 24 \text{ мм}$$

Выбор стандартного днища и крышки

В соответствии с рассчитанными из условия прочности минимальными значениями толщины стенки днища и крышки произведем выбор параметров днища и крышки из стандартизированных значений представленных в ГОСТ 6533-68 [24].

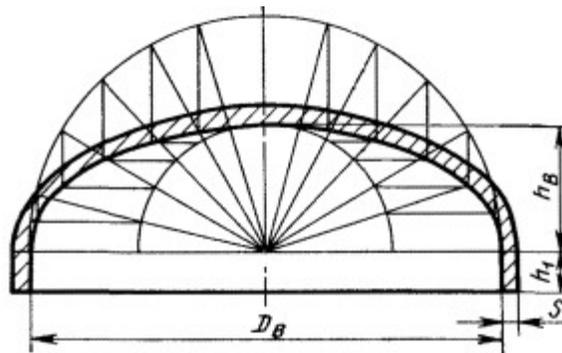


Рисунок 5. Днище эллиптическое

Таблица 3. Внутренние базовые размеры для днища и крышки эллиптической формы по ГОСТ 6533-78

D_B , мм	h_1 , мм	h_B , мм	s , мм	V , дм ³	Масса, кг
3200	80	800	25	11,9	2379,6

$$M_{\text{крышки}} := 2379.6 \text{ кг}$$

Из стандартных значений в качестве исполнительного выбираем днище 3200-25-800 ГОСТ 6533-68, и крышку 3200-25-800 ГОСТ 6533-68 [24].

$$s_{\text{дн}} := 25 \text{ мм}$$

5.2.1. Определение допустимых значений давления, МПа

В рабочих условиях

$$P_{\text{д}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot \phi_{\text{р}} \cdot (s_{\text{э}} - c)}{D + 0.5(s_{\text{э}} - c)} \quad P_{\text{д}} = 2.636 \text{ МПа}$$

$$P = 2.1 \text{ МПа}$$

В условиях испытаний

$$P_{\text{д,и}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \phi_{\text{р}} \cdot (s_{\text{э}} - c)}{D + 0.5(s_{\text{э}} - c)} \quad P_{\text{д,и}} = 3.903 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{пр}} = 3.324 \text{ МПа}$$

Исполнительная толщина стенки днища и крышки ректификационной колонны обеспечивает прочность сосуда в заданных эксплуатационных условиях, как в рабочих так и в условиях испытаний, т.к. рабочее, давление меньше рассчитанного допустимого давления при заданной толщине стенки.

Проверка применимости формул

В соответствии с ГОСТ Р 52857.2-2007 для эллиптических днищ, проверка применимости формул расчета производится в соответствии с условием [19]:

$$0.002 \leq \frac{(s_{\text{э}} - c)}{D} \leq 0.1$$

$$\frac{(s_{\text{э}}) - c}{D} = 7.188 \times 10^{-3}$$

$$0.002 \leq 0.0071 \leq 0.1$$

Условие применимости формул выполняется.

Выбор проката металла и создание развертки эллиптической крышки

В соответствии с ГОСТ 19903-74 [20], таблица 1, выбираем прокат с толщиной 25 мм, необходимой длиной 1700 мм и шириной, равной 3400 мм.

В соответствии с таблицей 1., ГОСТ 19903-74, производим изготовление эллиптической части обечайки из двух листов длиной 3400 мм, и шириной 1700 мм (1700х3400 мм), что обеспечит минимальные потери металла при обработке.

Изготовление и сварка деталей

Эллиптическую крышку изготавливаем горячей штамповкой из матрицы, при допущении в соответствии с рекомендациями ГОСТ 24306-80 утонения исходной толщины заготовки на 15%, что не приведет к нарушению условий эксплуатации т.к. в ходе расчета было принято утолщение стенки эллиптической части обечайки, на величину утонения [23].

В соответствии с рекомендацией ОСТ 26-2013-83 в крышке необходимо предусмотреть люк-лаз диаметром 500 мм [25].

В соответствии с требованиями ГОСТ 24306-80 днища изготовленные горячей штамповкой из коррозионно-стойкой стали аустенитно-ферритного класса, должны быть очищены от окалины механическим путем (дробеструйным путем), без травления [23].

Стыковые швы, при присоединении эллиптической части обечайки к конической части, выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, в соответствии с рекомендацией [17 с.252].

Сварку проводим с последующей проверкой качества швов внешним осмотром, ультразвуковой дефектоскопией.

5.3 Расчет штуцеров

Обеспечению герметичного соединения трубопроводов с эксплуатируемыми аппаратами призваны штуцера. В качестве исполнительного типа штуцера выбираем штуцера тип 1 исполнение 6 по АТК 24.218.06-90 используемые на условное давление от 1,6 МПа до 16 МПа и температуре от минус 70 до 600 °С, штуцера с фланцами стальными приварными встык [26].

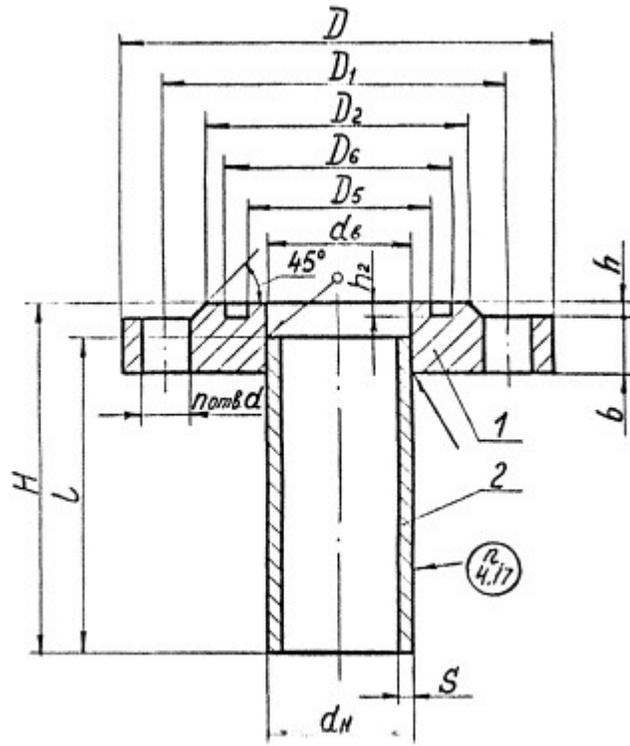


Рисунок 6. Штуцер тип 1 исполнение 6 по АТК 24.218.06-90 [26].
1 - фланец по ГОСТ 12820;
2 - патрубок.

В качестве исполнительного типа фланца выбираем фланец на условное давление 1,6 - 2,5 МПа по ГОСТ 12820 [27].

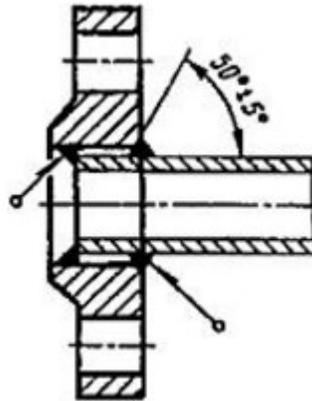


Рисунок 7. Фланец плоский стальной приварной в стык по ГОСТ 12820 [27].

Расчёт штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}};$$

Принимаем скорость движения пара и жидкости 2 м/с и 20 м/с

соответственно.

Плотность смеси питания,	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{исх}} := 459$
Плотность флегмы,	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{флег}} := 483$
Плотность дистиллята,	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{дист}} := 483$
Плотность кубового остатка,	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{куба}} := 445$
Плотность паров дистиллята,	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{пара.д}} := 39$
Плотность кубовой смеси,	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{пара.куба}} := 41$
Скорость движения жидкости,	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\omega_{\text{ж}} := 2$
Скорость движения пара,	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\omega_{\text{п}} := 20$
Производительность колонны по исходной смеси,	$\frac{\text{кг}}{\text{с}}$	$G_{\text{F}} := 5.625$
Производительность колонны по дистелляюту,	$\frac{\text{кг}}{\text{с}}$	$G_{\text{P}} := 1.92$
Производительность колонны по кубовому остатку,	$\frac{\text{кг}}{\text{с}}$	$G_{\text{W}} := 3.7$

Штуцер для ввода исходной смеси, мм:

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{F}}}{\pi \cdot \rho_{\text{исх}} \cdot \omega_{\text{ж}}}}$$

$$d_1 = 0.088 \text{ м}$$

В соответствии с таблицей 9, АТК 24.218.06-90 выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец в стык из приведенных стандартных значений в таблице 5 ГОСТ 12820-80 [26, 27].

Таблица 4. Исполнительные размеры выбранного штуцера $D_y=100$ мм по АТК 24.218.06-90 [26].

D_y	d_6	D	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6
100	110	205	170	148	117	167	116	138

D_y	d_e	D	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6
100	110	205	170	148	117	167	116	138

Высота патрубка с фланцем, мм:

$$H_{п1} := 245 \text{ мм}$$

Масса патрубка, кг:

$$M_{п1} := 8.5 \text{ кг}$$

Таблица 5. Исполнительные размеры подобранного фланца $D_y=100$ мм по ГОСТ 12820 [27]

Проход условный D_y , мм	d_H , мм	d_B , мм	b , мм	Масса, кг
100	108	110	25	5,56

Масса патрубка и фланца, кг:

$$M_{100} := 14.06 \text{ кг}$$

Штуцер для ввода флегмы, мм:

$$d_2 := \sqrt{\frac{4 \cdot G_p}{\pi \cdot \rho_{флег} \cdot \omega_{ж}}}$$

$$d_2 = 0.05 \text{ мм}$$

В соответствии с таблицей 13, АТК 24.218.06-90 выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец в стык из приведенных стандартных значений в таблице 1 ГОСТ 12820-80 [26, 27].

Таблица 6. Исполнительные размеры выбранного штуцера $D_y=80$ мм по АТК 24.218.06-90 [26]

D_y	d_e	D	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6
80	91	185	150	128	101	115	100	116

Высота патрубка с фланцем, мм:

$$H_{п2} := 225 \text{ мм}$$

Масса патрубка, кг:

$$M_{п2} := 6.4 \text{ кг}$$

Таблица 7. Исполнительные размеры подобранного фланца $D_y=80$ мм по ГОСТ 12820 [27]

Проход условный D_y , мм	d_H , мм	d_B , мм	b , мм	Масса, кг
----------------------------	------------	------------	----------	-----------

Проход условный Dy, мм	d _н , мм	d _в , мм	b, мм	Масса, кг
80	89	91	23	4,86

Масса патрубка и фланца, кг:

$$M_{80} := 11.26 \text{ кг}$$

Штуцер для отвода кубового остатка, мм:

$$d_3 := \sqrt{\frac{4 \cdot G_p}{\pi \cdot \rho_{\text{куба}} \cdot \omega_{\text{ж}}}}$$

$$d_3 = 0.052 \text{ м}$$

В соответствии с таблицей 13, АТК 24.218.06-90 выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец в стык из приведенных стандартных значений в таблице 1 ГОСТ 12820-80. Исполнительный диаметр штуцера для ввода флегмы [26,27].

Штуцер для вывода паров дистиллята, мм:

$$d_4 := \sqrt{\frac{4 \cdot G_p}{\pi \cdot \rho_{\text{пара.д}} \cdot \omega_{\text{п}}}}$$

$$d_4 = 0.056 \text{ м}$$

В соответствии с таблицей 13, АТК 24.218.06-90 выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец в стык из приведенных стандартных значений в таблице 1 ГОСТ 12820-80. Исполнительный диаметр штуцера для ввода флегмы и плоский стальной приварной в стык фланец выбираем аналогичных параметров что и для штуцера для отвода кубового остатка [26, 27].

Штуцер для ввода паров кубовой смеси, мм:

$$d_5 := \sqrt{\frac{4 \cdot G_p}{\pi \cdot \rho_{\text{пара.куба}} \cdot \omega_{\text{п}}}}$$

$$d_5 = 0.055 \text{ м}$$

В соответствии с таблицей 13, АТК 24.218.06-90 выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных

значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец в стык из приведенных стандартных значений в таблице 1 ГОСТ 12820-80. Исполнительный диаметр штуцера для ввода флегмы и плоский стальной приварной в стык фланец выбираем аналогичных параметров что и для штуцера для отвода кубового остатка и ввода паров дистиллята [26, 27].

5.4 Подбор люка-лаза

Установим 4 люк-лаза по всей длине ректификационной колонны располагая их с одной стороны колонны. Рекомендованный диаметр люка при данном диаметре колонны (3200 мм) составляет 500 мм, рекомендованной расстояние между тарелками в месте установки люка-лаза 1000 мм.

$$d_{\text{люк}} := 500 \text{ мм}$$

В качестве исполнительного типа люка-лаза выбираем люк с фланцем приварным встык с уплотнительной поверхностью "шип-паз" в соответствии с ОСТ 26-2000-83 исполнения 1 рассчитанный на условное давление до 2,5 МПа и эксплуатационную температуру от -70 до 540 °С. В целях предотвращения образования микрогольвано пары, развития коррозионных процессов из-за использования разных марок сталей в качестве исполнительный материал - сталь 09Г2С [29].

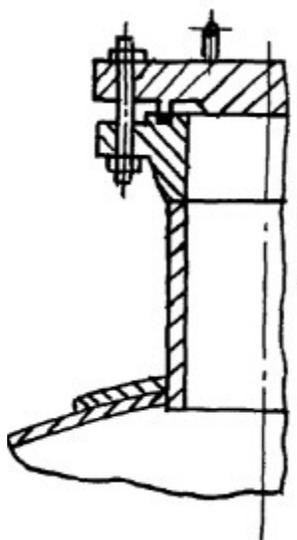


Рисунок 7. Люк-лаз по ОСТ 26-2000-83 исполнение 1 [29]

В соответствии с таблицей 13, АТК 24.218.06-90 выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец встык из приведенных стандартных значений в таблице 1 ГОСТ 12820-80 [26, 28].

Таблица 8. Исполнительные размеры выбранного штуцера $D_y=500$ мм по АТК 24.218.06-90 [26]

D_y	d_g	D	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6
500	534	730	660	615 ⁵⁶	549	575	548	576

D_v	d_g	D	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6
500	534	730	660	615	549	575	548	576

Исполнительную толщину патрубка примем равным толщине центральной обечайки.

В соответствии с приложением 1, ОСТ 26-2000-83 в качестве исполнительной толщины стенки выбираем - 28 мм [28]. При этом масса одного люка-лаза составит:

$$G_{\text{люка}} := 228 \text{ кг}$$

Масса всех 4-х люков:

$$G_{\text{люков}} := 4 \cdot G_{\text{люка}} = 912 \text{ кг}$$

5.5 Расчет укрепления отверстий

Расчет укреплений отверстий производим в соответствии с нормами ГОСТ 24755-81 [29].

5.5.1. Расчет укрепления отверстий крышки и днища

В эллиптическом днище аппарат необходимо предусмотреть одно отверстие для ввода кубовой смеси в теплообменник для обогрева, диаметром 80 мм.

В крышке необходимо предусмотреть одно отверстие для вывода паров дистиллята диаметром 80 мм. Поскольку представленные отверстия одинакового диаметра произведем расчет в соответствии с нормами ГОСТ 24755-81 однократно распространив полученные конструктивные решения на все проверяемые отверстия данного диаметра [29].

Диаметр отверстия, мм $d_4 := 80$

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси, мм $x_a := 500$

Допускаемые напряжения для материала накладного кольца при расчетной температуре, МПа

$$\sigma_{d1} := \sigma_d \quad \sigma_{d4} := \sigma_d$$

$$\sigma_{d2} := \sigma_d \quad \sigma_{d5} := \sigma_d$$

$$\sigma_{d3} := \sigma_d \quad \sigma_{d6} := \sigma_d$$

Примем угол между осью центральных штуцеров днища и нормалью к поверхности обечайки, в соответствии с рекомендацией ГОСТ 24755-81 равным [29]:

$$\gamma := 45 \cdot \text{deg}$$

Расчетный диаметр укрепляемых элементов, мм:

для эллиптических днищ при условии $H_{\text{www}} := 0.25 \cdot D = 800$ мм

Расчетный диаметр укрепляемых элементов центрального отверстия, мм:

$$D_{p4.} := 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left[\left(\frac{x_a}{D} \right)^2 \right]}$$

$$D_{p4.} = 6.161 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцера, мм:

$$s_{p1} := \frac{P \cdot D_{p4.}}{4 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} = 17.63 \text{ мм}$$

Расчетные диаметры отверстия, мм :

$$d_{p4.} := \frac{d4 + 2 \cdot c.}{\cos(\gamma)^2}$$

$$d_{p4.} = 168 \text{ мм}$$

Проверка применимости формул

В соответствии с ГОСТ 24755-81 для эллиптических днищ, проверка применимости формул расчета производится в соответствии с условием [29]:

$$\frac{d_{p4} - 2 \cdot c.}{D} \leq 0.6$$

$$\frac{|d_{p4} - 2 \cdot c.|}{D} = 0.051$$

Условие применимости формул выполняется.

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_{04} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_{\text{э}} - c.}{s_{\text{э},p}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p4.} \cdot (s_{\text{э}} - c.)}$$

$$d_{04} = 282.213 \text{ мм}$$

пров3 := $\begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_{04} \geq d_{p4.} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$

пров3 = "НЕ требуется укрепление отверстий"

5.5.2. Расчет укрепления отверстий центральной обечайки

В центральной обечайке необходимо предусмотреть 4 отверстия под люк-лазы диаметром 500 мм. Кроме того, необходимы отверстия под штуцер ввода исходной смеси 100 мм; штуцер ввода паров кубовой смеси 80 мм.

Проверка необходимости укрепления отверстия под штуцер для ввода исходной смеси:

Диаметр отверстия, мм $d_8 := 80$ мм

Расчетный диаметр укрепляемых элементов центрального отверстия для цилиндрической обечайки, мм:

$$D_{p8} := D$$

Расчетная толщина стенки штуцера, мм:

$$s_{p8} := \frac{P \cdot D_{p8}}{4 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} = 9.157 \text{ мм}$$

Расчетные диаметры отверстия, мм :

$$d_{p8} := d_8 + 2 \cdot c = 84$$

Проверка применимости формул

В соответствии с ГОСТ 24755-81 для цилиндрической обечайки проверка применимости формул расчета производится в соответствии с условием [29]:

$$\frac{d_{p8} - 2 \cdot c}{D} \leq 0.6$$

$$\frac{|d_{p8} - 2 \cdot c|}{D} = 0.025$$

Условие применимости формул выполняется.

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_{08} := 2 \cdot \left[\left(\frac{S - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p8} \cdot (S - c)}$$

$$d_{08} = 110.543 \text{ мм}$$

$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_{08} \geq d_{p8} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{пров3} = \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"}$

Проверка необходимости укрепления отверстия люк-лаза:

Расчетный диаметр укрепляемых элементов центрального отверстия для цилиндрической обечайки, мм:

$$D_p := D$$

Расчетная толщина стенки штуцера, мм:

$$s_{p6} := \frac{P \cdot D_p}{4 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} = 9.157 \text{ мм}$$

Расчетные диаметры отверстия, мм :

$$d_{p6} := d_{\text{люк}} + 2 \cdot c = 504$$

Проверка применимости формул

В соответствии с ГОСТ 24755-81 для цилиндрической обечайки проверка применимости формул расчета производится в соответствии с условием [29]:

$$\frac{d_{p6} - 2 \cdot c}{D} \leq 0.6$$

$$\frac{|d_{p6} - 2 \cdot c|}{D} = 0.156$$

Условие применимости формул выполняется.

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_{06} := 2 \cdot \left[\left(\frac{S - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - c)}$$

$$d_{06} = 110.543 \text{ мм}$$

$$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_{06} \geq d_{p6} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{пров3} = \text{"требуется укрепление отверстий"}}$$

Укрепление отверстий люк-лаза

В соответствии с рекомендацией [17, с. 77] в независимости от результатов расчета необходимо производить укрепление отверстий диаметром более 200 мм. В связи с чем производим укрепление отверстий под люк-лаз.

$$d_{\text{люка}} := 500 \text{ мм} \quad D_p := D$$

В соответствии с ГОСТ 24755-89: рекомендуемым вариантом укрепления является укрепление без использования накладного

кольца. В соответствии с рекомендацией [30, с. 181] наиболее рациональным и предпочтительным способом укрепления отверстий является укрепление патрубком штуцера.

В связи с чем производим укрепление отверстий патрубком, увеличивая толщину стенки патрубка, минимально необходимую величину которого рассчитаем в соответствии с уравнением (при известной толщине стенки штуцера):

$$s_{штуц} \geq \frac{s_{штуц,р}}{V_{ш}}$$

$$s_{штуц,р} := 22 \text{ мм}$$

Примем в соответствии с рекомендацией ГОСТ 24755-89 расчетные коэффициенты равными [31]:

$$K_1 := 1$$

$$K_2 := 1$$

Поскольку исполнительная марка стали патрубка и цилиндрической обечайки одинакова, примем расчетный коэффициент - отношение допускаемых напряжений равным:

$$\chi_1 := 1$$

Примем коэффициент прочности продольного сварного соединения штуцера, при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двухсторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100% по таблице Д.1. ГОСТ Р 52857.1-2007 [16].

$$\phi_1 := 1$$

В соответствии с ГОСТ 24755-89 расчетные параметры для варианта укрепления отверстия штуцером:

$$K := \frac{d_{люка}}{D_p} \cdot \sqrt{K_1 \cdot \phi_p \cdot \frac{\sigma_d}{R}}$$

$$K = 1.463$$

$$K_p := \frac{K_2}{4\sqrt{\chi_1}} \cdot \left(\frac{\phi_p}{\phi_1}\right) \cdot \frac{d_{люка} + 2 \cdot c}{D_p}$$

$$K_p = 0.158$$

$$V_{11} := \frac{s_p}{S - c} = 0.982$$

Примем расчетные коэффициент $V_{ш}$ в соответствии с номограммами (чертеж 1-3) и таблицей 2, ГОСТ 24755-89 [31]:

$$V_{ш} := 0.8$$

Тогда в соответствии с рекомендацией ГОСТ 24755-89 минимальная толщина укрепления штуцера рассчитывается в соответствии с условием [31]:

$$s_{штуц} \geq \frac{s_{штуц,р}}{V_{ш}}$$

$$s_{штуц} := \frac{s_{штуц,р}}{V_{ш}} = 27.5 \text{ мм}$$

Укрепление отверстий необходимых под люк-лазы проводим увеличением толщины стенки штуцера люк-лаза до толщины 28 мм.

Проверка необходимости укрепления отверстия под штуцер для ввода исходной смеси:

Диаметр отверстия, мм

$$d_7 := 100$$

Расчетный диаметр укрепляемых элементов центрального отверстия для цилиндрической обечайки, мм:

$$D_{p7} := D$$

Расчетная толщина стенки штуцера, мм:

$$s_{p7} := \frac{P \cdot D_{p7}}{4 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} = 9.157 \text{ мм}$$

Расчетные диаметры отверстия, мм :

$$d_{p7} := d_7 + 2 \cdot c = 104$$

Проверка применимости формул

В соответствии с ГОСТ 24755-89 для цилиндрической обечайки проверка применимости формул расчета производится в соответствии с условием [31]:

$$\frac{d_{p7} - 2 \cdot c}{D} \leq 0.6$$

$$\frac{|d_{p7} - 2 \cdot c|}{D} = 0.031$$

Условие применимости формул выполняется.

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления:

$$d_{07} := 2 \cdot \left[\left(\frac{S - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p7} \cdot (S - c)}$$

$$d_{07} = 110.543 \text{ мм}$$

$$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_{07} \geq d_{p7} \\ \text{"требуется укрепление отверстий"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{пров3} = \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"}}$$

Укрепление отверстия под штуцер для ввода исходной смеси:

В соответствии с ГОСТ 24755-89: рекомендуемым вариантом укрепления является укрепление без использования накладного кольца. В связи с чем производим укрепление отверстий штуцером, увеличивая толщину стенки штуцера, минимально необходимую величину которого рассчитаем в соответствии с уравнением (при известной толщине стенки штуцера) [31]:

$$s_{\text{штуц}} \geq \frac{s_{\text{штуц},p}}{V_{\text{ш}}}$$

$$s_{\text{штуц},p} := 22 \text{ мм}$$

В соответствии с ГОСТ 24755-89 расчетные параметры для варианта укрепления отверстия штуцером [31]:

$$K := \frac{d_7}{D_p} \cdot \sqrt{K_1 \cdot \phi_p \cdot \frac{\sigma_d}{P}}$$

$$K = 1.463$$

$$K_p := \frac{K_2}{4\sqrt{\chi_1}} \cdot \left(\frac{\phi_p}{\phi_1} \right) \cdot \frac{d_7 + 2 \cdot c}{D_p}$$

$$K_p = 0.158$$

$$V_{11} := \frac{s_p}{S_c - c} = 0.982$$

Примем расчетные коэффициент $V_{\text{ш}}$ в соответствии с номограммами (чертеж 1-3) и таблицей 2, ГОСТ 24755-89 [31]:

$$V_{\text{ш}} := 0.9$$

Тогда в соответствии с рекомендацией ГОСТ 24755-89 минимальная толщина укрепления штуцера рассчитывается по условию [31]:

$$s_{\text{штуц}} \geq \frac{s_{\text{штуц},p}}{V_{\text{ш}}}$$

$$s_{шт.ш.} := \frac{s_{шт.ш.р}}{V_{ш.}} = 24.444 \text{ мм}$$

Укрепление отверстий необходимых под люк-лазы проводим увеличением толщины стенки штуцера люк-лаза до толщины 25 мм.

$$s_{шт.ш.} := 25 \text{ мм}$$

5.6. Расчет фланцев

В соответствии с рекомендацией [17, с.86] в качестве исполнительного типа фланца выбираем плоский фланец приварной встык по ГОСТ 12820, в соответствии с рекомендацией ГОСТ 52857.4-2007 для значений давления от 1,6 до 6,3 МПа рекомендуется применение фланца с уплотнительной поверхностью типа "выступ-впадина", фланец изолированного типа [32].

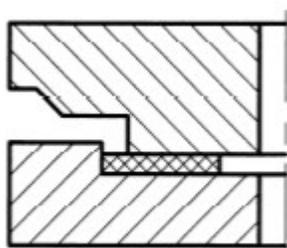


Рисунок 9. Уплотнительная поверхность типа "выступ-впадина" [7, с.5]

В соответствии с рекомендацией [5, с.211] во фланцевых соединениях при значениях расчетного давления менее 4 МПа и расчетной температуре менее 300 °С предпочтительно использование болтового соединения к соединению шпилькой.

В качестве исполнительного материала фланцев в целях предотвращения развития коррозионных процессов выбираем сталь той же марки что и корпус колонны - сталь 09Г2С в соответствии с рекомендацией СТО 0041-2004 [33].

В качестве материалов болтов в соответствии с СТО 0041-2004 рекомендовано использовать сталь 40Х исполнением ХЛ, а так же гайки высокопрочные и шайбы по ГОСТ 22353-77 и ГОСТ 22356-77 соответственно [34, 35].

В качестве исполнительного материала прокладки в соответствии с рекомендацией [30, с. 261] и ОСТ 26-373-78 [36], поскольку проектируемый аппарат размещается на открытой площадке выбираем паранит с температурой эксплуатации от -200 до 400 °С. В соответствии с ГОСТ 481-80 для рабочей среды: сжиженные и газообразные углеводороды C₁-C₃ необходимо использовать паранит маслобензостойкий - ПМБ и температуре эксплуатации от -40 до +100 °С. В соответствии с рекомендацией таблица 2, ГОСТ 481-80 примем эффективную толщину плоской прокладки ПБМ равной [37]:

$$b_{п} := 3 \text{ мм}$$

Примем расчетный параметр b_s равным 1 поскольку используем болты а не гайки:

$$b_s := 1$$

Примем в соответствии с таблицей В.1, ГОСТ Р 52857.1-2007 модуль продольной упругости стали 09Г2С при 20 °С и при 100 °С соответственно [16]:

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

$$E := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчет количества болтов произведем из условия:

$$n_b \geq \frac{\pi \cdot D_b}{t_{ш}}$$

где, D_b - диаметр ботовой окружности; $t_{ш}$ - рекомендуемый шаг расположения болтов.

Толщина втулки фланца, рассчитывается из условия:

$$s_0 \geq S.$$

Примем :

$$s_0 := s_{штуц.}$$

Толщина втулки у основания втулки, мм:

$$s_1 := s_0$$

$$s_1 = 25 \text{ мм}$$

В соответствии с рекомендацией СТО 0041-2004 примем диаметр болта, мм [33]:

$$d_b := 27 \text{ мм}$$

В соответствии с рекомендацией [30, с.94] нормативный зазор между гайкой и втулкой, примем:

$$u := 2 \text{ мм}$$

Диаметр болтовой окружности фланца, мм:

$$D_{б1} := d_1 \cdot 10^3 + 2(s_1 + d_b + u) = 196.327 \quad \text{- фланец штуцера ввода исходной смеси.}$$

$$D_{б2} := d_2 \cdot 10^3 + 2(s_1 + d_b + u) = 158.306 \quad \text{- фланец штуцера ввода флегмы.}$$

$$D_{б3} := d_3 \cdot 10^3 + 2(s_1 + d_b + u) = 160.41 \quad \text{- фланцы штуцеров отвода кубового остатка, паров дистиллята, паров кубовой смеси.}$$

Примем t_{III} в соответствии с рекомендацией таблицы 1.43, [30, с.94]:

$$t_{III} := 3.5 \cdot d_{\phi} = 94.5 \text{ мм}$$

Ориентировочное количество болтов во фланцах:

$$n_{\phi 1} := \frac{\pi \cdot D_{\phi 1}}{t_{III}} = 6.527$$

- фланец штуцера ввода
исходной смеси.

$$n_{\phi 3} := \frac{\pi \cdot D_{\phi 3}}{t_{III}} = 5.333$$

- фланцы штуцеров
отвода кубового остатка,
ввода флегмы, паров
дистиллята, паров кубовой
смеси.

Примем, в соответствии с рекомендацией таблицей 13.2 [30, с. 215]:

$$n_{\phi 1.} := 8$$

$$n_{\phi 2.} := 8$$

Таким образом число болтовых отверстий в фланцах всех
представленных диаметров - 8 шт.

$$n := 8 \quad \text{количество болтов M20}$$

Определение расчетных параметров

В соответствии с таблицей В.1, ГОСТ Р 52857.4-2007 расчетная
температура неизолированных плоских фланцев [32]:

$$t_{\phi} := t_c$$

$$t_{\phi} = 70 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_{\phi} := 0.97 \cdot t_c$$

$$t_{\phi} = 67.9 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Допускаемое напряжение для материала болтов 40Х в соответствии
с ГОСТ Р 52857.1-2007 и таблице 23, [17, с. 159] для 20 и 100 $^{\circ}\text{C}$:

$$\sigma_{д.б} := 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре в
соответствии с ГОСТ Р 52857.1-2007:

$$E_{\phi 100} := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

Коэффициент линейного расширения стали 40Х и 09Г2С при

$t=20-100^{\circ}\text{C}$ в соответствии с таблицей Ж.2, ГОСТ Р 52857.4-2007 и таблицы Г.1 ГОСТ Р 52857.1-2007:

$$\alpha_{\text{б}} := 13.3 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{К}}$$

$$\alpha_{\text{ф}} := 11.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{К}}$$

Эффективная ширина плоской прокладки (b_0) в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-2007 должна удовлетворять условию:

$$b_{\text{н}} := 15 \text{ мм}$$

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

$$b_0 = 15 \text{ мм}$$

Толщину плоской прокладки примем:

$$h_{\text{п}} := 3 \text{ мм}$$

Примем характеристики прокладки в соответствии с таблицей И.1, ГОСТ Р 52857.4-2007:

Прокладочный коэффициент $m_{\text{прок}} := 2.5$

Удельное давление обжатия прокладки, МПа $q_{\text{обж}} := 20$

Допускаемое удельное давление, МПа $q_{\text{д}} := 130$

Коэффициент обжатия $K_{\text{обж}} := 0.9$

Условный модуль сжатия прокладки, МПа $E_{\text{п}} := 0.02 \cdot 10^5$

Расчет конструктивных размеров фланцевого соединения

Толщина втулки рассчитывается из условия в соответствии с рекомендацией [17, с. 126]:

$$S_1 \leq s_0 \leq 1.35 \cdot S_1$$

и

$$S_1 - s_0 \leq 5 \text{ мм}$$

Примем:

$$s_0 := 25 \text{ мм}$$

Толщина втулки у основания втулки, мм:

$$\beta_1 := 1.5 \quad \text{- в соответствии с рекомендацией [17, с. 98].}$$

$$s_1 := \beta_1 \cdot s_0$$

$$s_{1.} = 37.5 \text{ мм}$$

Высота втулки рассчитывается из условия, мм:

$$l \geq 3 \cdot (s_{1.} - s_0)$$

$$l := 3 \cdot (s_{1.} - s_0) = 37.5 \text{ мм}$$

Примем $l_{\text{ф}} := 50 \text{ мм}$

Диаметр болтовой окружности, мм:

$$D_{\text{б1}} := d_1 \cdot 10^3 + 2(s_1 + d_6 + u) = 196.327 \quad \text{- фланец штуцера ввода исходной смеси.}$$

$$D_{\text{б3}} := d_3 \cdot 10^3 + 2(s_1 + d_6 + u) = 160.41 \quad \text{- фланцы штуцеров отвода кубового остатка, ввода флегмы паров дистиллята, паров кубовой смеси.}$$

Наружный диаметр фланцев рассчитывается из условия, мм:

$$D_{\text{нар.фланц}} \geq D_6 + a$$

Примем в соответствии с таблицей 25 приложения 2 [17, с.160] конструктивные добавки, мм:

$a := 40$ - для гаек шестигранных.

$e := 30$ - для плоских прокладок.

Тогда

$$D_{\text{нар.фланц.1}} := D_{\text{б1}} + a = 236.327 \text{ мм} \quad \text{- фланец штуцера ввода исходной смеси.}$$

$$D_{\text{нар.фланц.3}} := D_{\text{б3}} + a = 200.41 \text{ мм} \quad \text{- фланцы штуцеров отвода кубового остатка, ввода флегмы паров дистиллята, паров кубовой смеси.}$$

Наружный диаметр прокладки, мм:

$$D_{\text{нар.прокл.1}} := D_{\text{б1}} - e = 166.327 \text{ мм} \quad \text{- фланец штуцера ввода исходной смеси.}$$

$$D_{\text{нар.прокл.3}} := D_{\text{б3}} - e = 130.41 \text{ мм} \quad \text{- фланцы штуцеров отвода кубового остатка, ввода флегмы, паров дистиллята, паров кубовой смеси.}$$

Примем, конструктивно в соответствии с ГОСТ 15180-86 [38]:

$$D_{\text{нар.прокл.1.}} := 166 \text{ мм}$$

$$D_{\text{нар.прокл.3.}} := 141 \text{ мм}$$

Средний диаметр прокладки, мм:

$$D_{\text{ср.пр1}} := D_{\text{нар.прокл.1.}} - d_{\zeta} = 139$$

$$D_{\text{ср.пр2}} := D_{\text{нар.прокл.3.}} - d_{\zeta} = 114$$

Условное обозначение выбранных прокладок: Прокладка А-100-3
ПОН-ГОСТ 15180-86. В соответствии с таблицей 3, ГОСТ 15180-86:

Таблица 9. Исполнительные размеры прокладки А-100-3 ПОН-ГОСТ 15180-86 [38]

Условный проход, D_y мм	Давление условное, P_y , МПа	Наружный диаметр прокладки, мм	Внутренний диаметр прокладки, мм
100	2,5	166	106

Условное обозначение выбранных прокладки: Прокладка А-80-3
ПОН-ГОСТ 15180-86:

Таблица 10. Исполнительные размеры прокладки А-80-3
ПОН-ГОСТ15180-86

Условный проход, D_y мм	Давление условное, P_y , МПа	Наружный диаметр прокладки, мм	Внутренний диаметр прокладки, мм
80	1,0-4,0	141	87

Расчетный диаметр прокладки по ГОСТ 52857.4-2007, мм:

$$D_{\text{сп1}} := D_{\text{нар.прокл.1.}} - (b_0) = 151$$

$$D_{\text{сп3}} := D_{\text{нар.прокл.3.}} - (b_0) = 126$$

Расчет фланцевого соединения на прочность и герметичность

Фланцевое соединение должно быть прочным, жестким и герметичным [39, с.10]. В соответствии с рекомендацией ГОСТ 57852.4-2007 необходимо провести расчет фланцевых соединений на прочность и герметичность.

Расчет прочности болтов сводится к выполнению условий,
- при затяжке:

$$\sigma_{61} \leq 1.3 \cdot \xi \cdot \sigma_{620}$$

Где ξ в соответствии с рекомендацией [39, с.13], примем равным:

$$\xi := 1.2$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{62} \leq 1.3 \cdot \sigma_6$$

$$\sigma_{620} := (\sigma_{д.6})$$

$$\sigma_6 := (\sigma_{д.6})$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_{6.p}}{f_6 \cdot n} \quad \sigma_{61} = \frac{P_{6.m}}{f_6 \cdot n}$$

Податливость прокладок:

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{обж}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{спл} \cdot b_{\Pi}} = 1.897 \times 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

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

$$L_{60} := 62 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости, по ГОСТ 52857.4-2007:

$$d_{6олт} := 20 \text{ мм}$$

$$L_6 := \begin{cases} (L_{60} + 0.28 \cdot d_{6олт}) & \text{if } bs = 1 \\ (L_{60} + 0.56 \cdot d_{6олт}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L_6 = 67.6 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения болтов в соответствии с таблицей Д.1, ГОСТ 52857.4-2007, без проточки:

$$f_6 := 430 \text{ мм}^2$$

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

$$A_6 := n \cdot f_6$$

$$A_6 = 3.44 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Податливость болтов:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6}$$

$$y_6 = 9.875 \times 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-2007:

$$P_{\text{обж1}} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп1}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} \cdot |P| \quad P_{\text{обж2}} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп3}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} \cdot |P|$$

$$P_{\text{обж1}} = 1.494 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{\text{обж2}} = 1.247 \times 10^5 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-2007:

$$R_{\text{п1}} := \begin{cases} (\pi \cdot D_{\text{сп1}} \cdot b_0 \cdot m_{\text{прок}} \cdot P) & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{\text{п1}} = 3.736 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$R_{\text{п2}} := \begin{cases} (\pi \cdot D_{\text{сп3}} \cdot b_0 \cdot m_{\text{прок}} \cdot P) & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{\text{п2}} = 3.117 \times 10^4 \text{ Н}$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{\text{д1}} := D_{\text{сп1}}^2 \cdot P \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$Q_{\text{д2}} := D_{\text{сп3}}^2 \cdot P \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$Q_{\text{д1}} = 3.761 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{д2}} = 2.618 \times 10^4 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента, примем равным нулю т.к. нет момента создаваемого редуктором:

$$M := 0$$

Ввиду отсутствия действия внешних сил, примем приведенную нагрузку Q_{FM} равной нулю в соответствии с рекомендацией ГОСТ Р52857.4-2007:

$$Q_{\text{FM}} := 0$$

Длина втулки, мм:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S} = 265.33 \text{ мм}$$

Расчетный коэффициент равный отношению наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K_{\text{p1}} := \frac{D_{\text{нар.фланц.1}}}{D} = 0.074$$

$$K_{p2} := \frac{D_{\text{нар.фланц.3}}}{D} = 0.063$$

Безразмерные расчетные коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-2007:

для фланца шпучера ввода исходной смеси:

$$\beta_T := \frac{K_{p1}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p1})) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K_{p1}^2) \cdot (K_{p1} - 1)} = 1.066$$

$$\beta_U := \frac{[K_{p1}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p1})) - 1]}{1.36 \cdot (K_{p1}^2 - 1) \cdot (K_{p1} - 1)} = -0.836$$

$$\beta_Y := \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K_{p1}^2 \cdot \log(K_{p1})}{(K_{p1}^2 - 1)} \right] \cdot \frac{1}{(K_{p1} - 1)} = -0.783$$

$$\beta_Z := \frac{K_{p1}^2 + 1}{K_{p1}^2 - 1} = -1.011$$

для фланца шпучеров отвода кубового остатка, ввода флегмы, паров дистиллята, паров кубовой смеси:

$$\beta_{T2} := \frac{K_{p2}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p2})) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K_{p2}^2) \cdot (K_{p2} - 1)} = 1.045$$

$$\beta_{U2} := \frac{[K_{p2}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p2})) - 1]}{1.36 \cdot (K_{p2}^2 - 1) \cdot (K_{p2} - 1)} = -0.816$$

$$\beta_{Y2} := \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K_{p2}^2 \cdot \log(K_{p2})}{(K_{p2}^2 - 1)} \right] \cdot \frac{1}{(K_{p2} - 1)} = -0.765$$

$$\beta_{Z2} := \frac{K_{p2}^2 + 1}{K_{p2}^2 - 1} = -1.008$$

Коэффициенты β_F , β_V и f для фланцевых соединений с приварными стык фланцами в соответствии с рисунками К.2 и К.4 ГОСТ Р 52857.4-2007, примем:

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

Толщина тарелки фланца, в соответствии с [39, с. 9] принимается из условия:

$$h \geq \lambda_\phi \cdot \sqrt{D \cdot s_0}$$

Где значение λ_ϕ определяется по графику 6 [39, с.9]:

$$\lambda_\phi := 0.35$$

$$h := \lambda_\phi \cdot \sqrt{D \cdot s_0}$$

Расчетный коэффициент λ , в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-2007 рассчитывается в соответствии с формулой:

$$\lambda_1 := \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} + \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} = -2.592$$

$$\lambda_2 := \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_{U2} \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} + \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_{T2} \cdot l_0} = -2.661$$

Угловая податливость фланцев в соответствии с рекомендацией ГОСТ Р 52857.4-2007:

1) угловая податливость фланца при затяжке, $\frac{\text{мм}}{\text{Н}}$:

$$y_{\phi 1} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda_1 \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -5.851 \times 10^{-12} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{\phi 2} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda_2 \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -5.7 \times 10^{-12} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

2) угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментами, $\frac{\text{мм}}{\text{Н}}$:

$$y_{\phi n 1} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{61}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_{\text{нар.фланц.1}}} = 2.085 \times 10^{-12} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{\phi n 2} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{63}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_{\text{нар.фланц.3}}} = 2.009 \times 10^{-12} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между

шпильками (болтами), в соответствии с ГОСТ 52857.4-2007:

$$C_{F1} := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{61}}{n \cdot \left(2 \cdot d_{\text{болт}} + \frac{6 \cdot h}{m_{\text{прок}} + 0.5} \right)}} \right] = 1$$

$$C_{F2} := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{63}}{n \cdot \left(2 \cdot d_{\text{болт}} + \frac{6 \cdot h}{m_{\text{прок}} + 0.5} \right)}} \right] = 1$$

Приведенный диаметр плоского фланца, в соответствии с рекомендацией ГОСТ 52857.4-2007:

$$D_{\text{пр}} := D$$

Плечо действия усилий в болтах (шпильках) при приварных встык и плоских фланцах в соответствии с ГОСТ 52857.4-2007:

$$b_1 := 0.5 \cdot (D_{61} - D_{\text{сп1}}) = 22.664 \text{ мм}$$

$$b_2 := 0.5 \cdot (D_{61} - D_{\text{сп3}}) = 35.164 \text{ мм}$$

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

$$e1 := |0.5 \cdot (D_{\text{сп1}} - D - s_0)| = 1.537 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$e2 := |0.5 \cdot (D_{\text{сп3}} - D - s_0)| = 1.55 \times 10^3 \text{ мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык плоских фланцев, по ГОСТ Р 52857.4-2007:

$$\gamma_1 := \frac{1}{y_{\text{п}} + 2 \cdot b_1^2 \cdot y_{\text{фн1}} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_{6100}}} = 3.392 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$\gamma_2 := \frac{1}{y_{\text{п}} + 2 \cdot b_2^2 \cdot y_{\text{фн2}} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_{6100}}} = 3.358 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

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

$$\alpha_1 := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e1 \cdot y_{\text{п}} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{фн1}}} = 1.391 \times 10^4$$

$$\alpha_2 := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e_2 \cdot y_{\Pi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi H2}} = 1.455 \times 10^4$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_{M1} := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\Phi H1} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп1}}} \right)}{y_6 + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\text{б1}}}{D_{\text{сп1}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\Phi H1} \cdot b^2} = 1$$

$$\alpha_{M2} := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\Phi H2} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп3}}} \right)}{y_6 + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\text{б2}}}{D_{\text{сп3}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\Phi H2} \cdot b^2} = 1$$

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

$$Q_{t1} := \left| \gamma_1 \cdot \left[2 \cdot \alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20) \right] \right| = 3.832 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$Q_{t2} := \gamma_2 \cdot \left[2 \cdot \alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20) \right] = -3.794 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

В соответствии с рекомендацией ГОСТ 52857.4-2007 т.к. фланец не имеет рубашки, примем момент сил равным:

$$M := 0$$

$$F := 0$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, достаточная для герметизации фланцевого соединения

$$P_{\text{б11}} := \max \left[\left[\alpha_1 \cdot (Q_{\text{д1}} + F) + R_{\text{п1}} + \frac{4 \cdot \alpha_{M1} \cdot M}{D_{\text{сп1}}} \right]; \left[\alpha_1 \cdot (Q_{\text{д1}} + F) + R_{\text{п1}} + \frac{4 \cdot \alpha_{M1} \cdot M}{D_{\text{сп1}}} - Q_{t1} \right] \right]$$

$$P_{\text{б11}} = 5.23 \times 10^8 \quad \text{Н}$$

$$P_{\delta 12} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha_2 \cdot (Q_{d2} + F) + R_{n2} + \frac{4 \cdot \alpha_{M2} \cdot M_1}{D_{сп3}} \\ \alpha_2 \cdot (Q_{d2} + F) + R_{n2} + \frac{4 \cdot \alpha_{M2} \cdot M_1}{D_{сп3}} - Q_{t2} \end{array} \right]$$

$$P_{\delta 12} = 3.81 \times 10^8 \text{ Н}$$

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

$$P_{\delta 21} := \max [P_{обж1}, 0.4 \cdot A_{\delta} \cdot (\sigma_{д.б})]$$

$$P_{\delta 21} = 3.165 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{\delta 22} := \max [P_{обж2}, 0.4 \cdot A_{\delta} \cdot (\sigma_{д.б})]$$

$$P_{\delta 22} = 3.165 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$P_{\delta M1} := \max (P_{\delta 21}, P_{\delta 11})$$

$$P_{\delta M1} = 5.23 \times 10^8 \text{ Н}$$

$$P_{\delta M2} := \max (P_{\delta 22}, P_{\delta 12})$$

$$P_{\delta M2} = 3.81 \times 10^8 \text{ Н}$$

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

$$P_{\delta p1} := P_{\delta M1} + (1 - \alpha_1) \cdot (Q_{d1} + F) + Q_{t1} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{M1}) \cdot M_1}{D_{сп1}}$$

$$P_{\delta p1} = 1.133 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{\delta p2} := P_{\delta M2} + (1 - \alpha_2) \cdot (Q_{d2} + F) + Q_{t2} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{M2}) \cdot M_1}{D_{сп3}}$$

$$P_{\delta p2} = 5.736 \times 10^4 \text{ Н}$$

Проверка прочности болтов и прокладки

1) для фланца штуцера ввода исходной смеси

Расчетные значения в болтах(шпильках):

- при затяжке:

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6m1}}{A_6 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{61} = 152.025 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p1}}{A_6}$$

$$\sigma_{62} = 32.932 \text{ МПа}$$

KL := "Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"

KF := "Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

$$Us1 := \begin{cases} \text{"KL"} & \text{if } \sigma_{61} > (\sigma_{д.б}) \\ \text{"KF"} & \text{if } \sigma_{62} > (\sigma_{д.б}) \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1 = "Условия прочности выполняются"

$$q := \frac{\max(P_{6m1}, P_{6p1})}{\pi \cdot D_{сп1} \cdot b_{п} \cdot 10^3}$$

$$q = 73.495 \text{ МПа}$$

$$Us1p := \begin{cases} \text{"Условия прочности прокладки НЕ выполняются"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условия прочности прокладки выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1p = "Условия прочности прокладки выполняются"

2) для фланцев штуцеров отвода кубового остатка, ввода флегмы паров дистиллята, паров кубовой смеси

Расчетные значения в болтах(шпильках):

- при затяжке:

$$\sigma_{612} := \frac{P_{6m2}}{A_6 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{612} = 110.767 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{622} := \frac{P_{6p2}}{A_6}$$

$$\sigma_{622} = 16.674 \text{ МПа}$$

$\underline{\text{KL}} :=$ "Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"

$\underline{\text{KF}} :=$ "Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

$\underline{\text{Us1}} :=$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{"KL"} \text{ if } \sigma_{612} > (\sigma_{\text{д.б}}) \\ \text{KF} \text{ if } \sigma_{622} > (\sigma_{\text{д.б}}) \\ \text{"Условия прочности выполняются"} \text{ otherwise} \end{array} \right.$

$\text{Us1} =$ "Условия прочности выполняются"

$$q2 := \frac{\max(P_{6m2}, P_{6p2})}{\pi \cdot D_{\text{сп1}} \cdot b_{\text{п}} \cdot 10^3}$$

$$q2 = 53.549 \text{ МПа}$$

$\text{Us1p} :=$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{"Условия прочности прокладки НЕ выполняются"} \text{ if } q > q_d \\ \text{"Условия прочности прокладки выполняются"} \text{ otherwise} \end{array} \right.$

$\text{Us1p} =$ "Условия прочности прокладки выполняются"

5.7 Расчет тарелок на прогиб

В соответствии с рекомендацией ОСТ 26-805-73 для колонных аппаратов работающих под избыточным внутренним давлением в качестве исполнительного типа тарелок необходим выбор тарелок типа ТС-Р2 [40].

Механический расчет тарелок в зависимости от их конструкции включает:

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

Диск тарелки бескаркасного типа можно рассматривать как тонкую круглую пластину, опертую по контуру и нагруженную равномерной нагрузкой от собственного веса и веса жидкости. В качестве исполнительной марки стали тарелок выбираем сталь 09Г2С [41, с.100]:

$D := 3.2$ - внутренний диаметр колонны, м

Расчет веса и площади тарелки

Площадь тарелки, м²:

$$F_{\text{тарелки}} := \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 8.042 \text{ м}^2$$

В соответствии с данными [41, с.102] суммарная площадь отверстий составляет примерно 8% площади диска тарелки. Тогда, суммарная площадь диска тарелки, м² :

$$F_1 := 0.08 \cdot F_{\text{тарелки}} = 0.643 \text{ м}^2$$

Примем толщину тарелки в первом приближении в соответствии с рекомендацией о минимальной толщине тарелки в 3 мм [41, с.102]:

$$S_{\text{диска}} := 0.003 \text{ м}$$

Удельный вес стали :

$$\gamma_{\text{стали}} := 0.0078 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$$

Вес тарелки, МН:

$$G_{\text{тарелки}} := (F_{\text{тарелки}} - F_1) \cdot S_{\text{диска}} \cdot \gamma_{\text{стали}}$$

$$G_{\text{тарелки}} = 1.731 \times 10^{-4} \text{ МН}$$

Примем диаметр отверстия в соответствии с ОСТ 26-805-73 [40]:

$$d_{\text{отв}} := 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$f_{\text{отв}} := \frac{\pi \cdot d_{\text{отв}}^2}{4} = 1.257 \times 10^{-5} \text{ м}$$

Количество отверстий:

$$n_{\text{отв}} := \text{ceil} \left(\frac{F_1}{f_{\text{отв}}} \right) = 5.12 \times 10^4$$

С учетом веса слоя жидкости на поверхности тарелки высотой 40 мм. Тогда вес жидкости на тарелки равен:

$$G_{\text{в}} := \rho_{\text{исх}} \cdot 0.04 \cdot (F_{\text{тарелки}} - n_{\text{отв}} \cdot f_{\text{отв}}) \cdot 9.8 \cdot 10^{-6} = 1.331 \times 10^{-3} \text{ МН}$$

Тогда общая нагрузка на которую рассчитывается тарелка:

$$G := G_{\text{в}} + G_{\text{тарелки}} = 1.504 \times 10^{-3} \text{ МН}$$

$$p_{\text{р}} := \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D \cdot 10} = 5.986 \times 10^{-5} \frac{\text{МН}}{\text{м}^2}$$

Примем конструктивную прибавку равной сумме прибавки на коррозию и на минусовое отклонение в соответствии с рекомендацией [41, с.102]:

$$c_{\text{т}} := c_{\text{к}} + c_2 = 1.7 \text{ мм}$$

В этом случае толщину диска определяют по формуле [41, с.100]:

$$S_{\text{диск.та}} := 0.56 \cdot \frac{D}{10^3} \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\sigma_d}} + c_{\text{т}} \cdot 10^{-3} = 2.722 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Примем

$$S_{\text{диск.тар}} := 3 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad \text{или} \quad S_{\text{диск.тар.}} := 3 \text{ мм}$$

$$\text{Url_tar} := \begin{cases} \text{"Расчет верный"} & \text{if } S_{\text{диск.та}} \leq S_{\text{диска}} \\ \text{"Необходимо проверить расчет"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Url_tar} = \text{"Расчет верный"}$$

В качестве исполнительного типа таречи выбрана тарелка ТС-Р2 3200-500 ОСТ 26-805-73.

Коэффициент Пуассона μ в соответствии с рекомендацией [41, с.101] примем равным:

$$\mu := 0.3$$

Цилиндрическая жесткость, Н*м:

$$N := \frac{E \cdot (3)^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = 4.723 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$R := \frac{1}{2} \cdot D$$

Прогиб в центре тарелки, м:

$$\omega := 4.08 \cdot \frac{P \cdot (R)^4}{64 \cdot N} = 1.858 \times 10^{-6} \text{ м}$$

В соответствии с рекомендацией [41, с.101] величина прогиба тарелки не должна превышать 1/2000 ее диаметра, и не более 3-х мм:

$$\omega \leq \omega_d$$

$$\omega_d := \frac{1}{2000} \cdot D = 1.6 \text{ мм}$$

$$\text{Url_kar} := \begin{cases} \text{"Каркас не нужен"} & \text{if } \omega \cdot 10^3 \leq \omega_d \\ \text{"Каркас необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Url_kar} = \text{"Каркас не нужен"}$$

Поскольку прогиб в центре тарелки лежит в области допустимых значений в соответствии с рекомендацией [41, с.102] необходимости в каркасе нет.

В соответствии с таблицей 2, ОСТ 26-805-73 основные параметры

выбранной тарелки:

Таблица 11. Основные параметры ситчатой тарелки ТС-Р2

D, мм	Свободное сечение колонны, M^2	$L_{сл}$, м	Масса, кг
3200	8,040	2740	255,5

$$M_T := 255.5 \text{ кг}$$

5.8. Расчет ветровой нагрузки и seismicного воздействия

Расчетная схема аппарата колонного типа

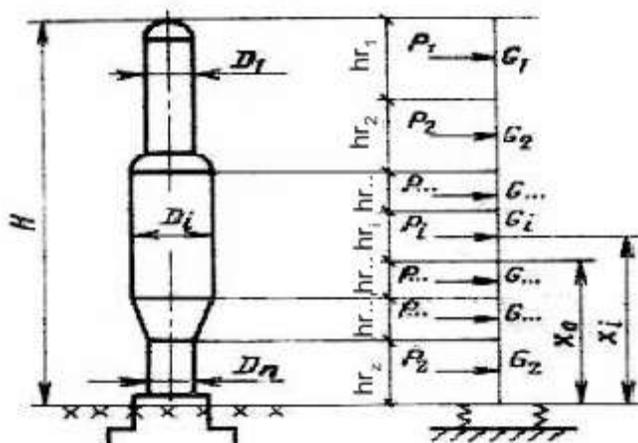


Рисунок 10. Расчетная схема аппарата колонного типа по ГОСТ Р 51273-99 [42].

В соответствии с рекомендацией ГОСТ Р 51273-99 расчет на ветровую нагрузку необходимо проводить для аппаратов располагаемых на открытых площадках [42].

Определение расчетных параметров:

Высота колонны с учетом высоты опоры, м $H_k := 79$

Расчет усилий возникающих в элементах проектируемой колонны от ветровой нагрузки и seismicных воздействий проводим в соответствии с ГОСТ Р 51273-99 [42].

В соответствии с рекомендацией ГОСТ Р 51273-99 о необходимости разбиения проектируемой колонны на отдельные участки высотой не более 10 метров, произведем разбиение проектируемой колонны на 9 расчетных участков:

$$hr_z := 9$$

Примем значение высоты опоры в соответствии с рекомендацией АТК 24.200.04-90, м:

$$H_{\text{оп}} := 5 \text{ м}$$

$$i := 0 .. hr_z - 1$$

Высота участков колонны, м:

$$hr_1 := 4 \quad hr_5 := 10 \quad hr_9 := 5$$

$$hr_2 := 10 \quad hr_6 := 10$$

$$hr_3 := 10 \quad hr_7 := 10$$

$$hr_4 := 10 \quad hr_8 := 10$$

$$h_{i,0} := hr_{i+1}$$

Расстояние от середины i-го участка до поверхности земли, м:

$$xr_1 := 77 \quad xr_5 := 40 \quad xr_9 := 2.5$$

$$xr_2 := 70 \quad xr_6 := 30$$

$$xr_3 := 60 \quad xr_7 := 20$$

$$xr_4 := 50 \quad xr_8 := 10$$

$$x_{i,0} := xr_{i+1}$$

За расчетные сечения примем в соответствии с рекомендацией ГОСТ Р 51273-99 высоты в местах расположения патрубков и люк-лазов, согласно рисунку 10. Примем число расчетных сечений равным числу обслуживаемых площадок, для обеспечения возможности расчета изгибающего момента в расчетном сечении на высоте x_0 от действия ветровой нагрузки на обслуживаемую площадку:

- $x_{r_1} := 0$ - место установки штуцера для вывода паров дистилята;
- $x_{r_2} := 2$ - место установки штуцера для ввода флегмы;
- $x_{r_3} := 4$ - место установки люк-лаза;
- $x_{r_4} := 21.5$ - место установки люк-лаза;
- $x_{r_5} := 39$ - место установки патрубка для ввода исходной смеси;
- $x_{r_6} := 39$ - место установки люк-лаза;
- $x_{r_7} := 56.5$ - место установки люк-лаза;
- $x_{r_8} := 72.2$ - место установки патрубка для ввода паров кубового остатка;
- $x_{r_9} := 74$ - место установки патрубка для вывода кубового остатка;

	0	
а		а

$$x_{0,i,0} := x_{r_{i+1}} \quad x_0 =$$

U	U
1	2
2	4
3	21.5
4	39
5	39
6	56.5
7	72.2
8	74

Наружный диаметр по участкам, м:

$$D_{r_1} := 3.2 \quad D_{r_5} := 3.2 \quad D_{r_9} := 3.2$$

$$D_{r_2} := 3.2 \quad D_{r_6} := 3.2$$

$$D_{r_3} := 3.2 \quad D_{r_7} := 3.2$$

$$D_{r_4} := 3.2 \quad D_{r_8} := 3.2$$

$$D_{n,i,0} := D_{r_{i+1}}$$

Количество обслуживающих площадок примем конструктивно в соответствии с рекомендацией [43]. В соответствии с [43] лестницы высотой более 10 метров должны оборудоваться площадками для отдыха через каждые 5 м подъема, при этом ширина лестниц не менее 400 мм, а расстояние между ступеньками не более 300 мм. Установку обслуживающих площадок произведем в местах установки люк-лазов, и штуцеров для ввода исходной смеси, паров кубового остатка и ввода флегмы.

Примем количество обслуживающих площадок равным девяти. Четыре для обслуживания четырех люк-лазов, и патрубков для ввода флегмы и исходной смеси, высоты которых совпадают. Произведем установку первую площадку на высоте 13,5 м от поверхности земли.

$$R_j := 9$$

В качестве исполнительного типа обслуживающей площадки выберем круговую площадку ввиду необходимости контроля периметра колонны на заданных высотах (поскольку люк-лаз и патрубки находятся на одной высоте колонны по разные стороны). В соответствии с рекомендацией [44] минимальная ширина обслуживающих площадок составляет не менее 1 м.

Тогда наружный диаметр обслуживающей площадки (без учета толщины изоляции) составит, м:

$$D_{n,плоч} := 4.224 \text{ м}$$

$$D_{n,колонны} := 3.244 \text{ м}$$

Площадь обслуживающих площадок на участках №1- n, м²:

$$j := 0 .. R_j - 1$$

$$\frac{\pi \cdot (D_{\text{н.п.пл.}}^2 - D_{\text{н.кол.}}^2)}{4} = 5.748 \text{ м}^2$$

Примем расчетную площадь обслуживающих площадок равной, м²:

$$\begin{aligned} A_1 &:= 6 & A_3 &:= 6 & A_5 &:= 6 & A_7 &:= 6 & A_9 &:= 6 \\ A_2 &:= 6 & A_4 &:= 6 & A_6 &:= 6 & A_8 &:= 6 \end{aligned}$$

$$A_{j,0} := A_{j+1}$$

Высота обслуживающих площадок от поверхности земли, м. :

$$x_{jr1} := 79$$

$$x_{jr2} := 75$$

$$x_{jr3} := 66.25$$

$$x_{jr4} := 57.5$$

$$x_{jr5} := 48.75$$

$$x_{jr6} := 40$$

$$x_{jr7} := 31.25$$

$$x_{jr8} := 22.5$$

$$x_{jr9} := 13.5$$

$$x_{jj} := x_{jr_{j+1}}$$

$$x_{j,0} := x_{jr_{j+1}}$$

Примем массу сборочных единиц:

1 м³ стальных площадок: 120 кг;

1 погонного метра ограждения лестниц: 15 кг;

1 погонного метра лестниц: 37 кг;

1 м² ректификационных тарелок, включая жидкость на ней:

$$G_{\text{т.1кв.м}} := 217 \text{ кг};$$

Примем что, масса изоляции, днищ, люков, штуцеров: не более 20 % от веса стального корпуса;

Примем удельный вес:

$$\text{стали } \gamma_{\text{ст}} := 7800 \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{воды } \gamma_{\text{в}} := 1000 \text{ кг/м}^3;$$

Вес участков колонны для условий гидроиспытаний складывается из веса кожуха этого участка и суммы весов элементов расположенных на этом участке.

Вес участков колонны, начиная с веха колонны согласно рисунку 7:

$$D_{\text{нар}} := 3.244 \quad D_{\text{нар.опоры}} := 3.28 \quad - \text{ наружный диаметр колонны и опоры соответственно, м.}$$

Массы цилиндрических частей коллоны по участкам, кг:

$$M_{ц1} := \frac{[(D_{нар})^2 - D^2] \cdot \pi}{4} \cdot h_{г1} \cdot \gamma_{ст} = 6.948 \times 10^3 \text{ кг}$$

$$M_{ц2} := \frac{[(D_{нар})^2 - D^2] \cdot \pi}{4} \cdot h_{г2} \cdot \gamma_{ст} = 1.737 \times 10^4 \text{ кг}$$

$$M_{ц9} := \frac{[(D_{нар.опоры})^2 - D^2] \cdot \pi}{4} \cdot h_{г9} \cdot \gamma_{ст} = 1.588 \times 10^4 \text{ кг}$$

Масса слоя жидкости на тарелке, кг:

$$M_{слоя} := 0.4 \cdot F_{тарелки} \cdot \frac{\rho_{дист} + \rho_{куба}}{2} = 1.493 \times 10^3 \text{ кг}$$

Тогда вес колонны по участкам в условиях пневмоиспытаний, Н:

$$G_{г1} := (1.2 \cdot M_{ц1} + 8 \cdot M_T) \cdot 9.8 = 1.017 \times 10^5$$

$$G_{г2} := (1.2 \cdot M_{ц2} + 20M_T) \cdot 9.8 = 2.543 \times 10^5$$

$$G_{г3} := (1.2 \cdot M_{ц2} + 20M_T) \cdot 9.8 = 2.543 \times 10^5$$

$$G_{г4} := (1.2 \cdot M_{ц2} + 20M_T) \cdot 9.8 = 2.543 \times 10^5$$

$$G_{г5} := (1.2 \cdot M_{ц2} + 20M_T) \cdot 9.8 = 2.543 \times 10^5$$

$$G_{г6} := (1.2 \cdot M_{ц2} + 20M_T) \cdot 9.8 = 2.543 \times 10^5$$

$$G_{г7} := (1.2 \cdot M_{ц2} + 20M_T) \cdot 9.8 = 2.543 \times 10^5$$

$$G_{г8} := (1.2 \cdot M_{ц2} + 20M_T) \cdot 9.8 = 2.543 \times 10^5$$

$$G_{г9} := (M_{ц9}) \cdot 9.8 = 1.556 \times 10^5$$

$$G_{г_{i,0}} := G_{г_{i+1}}$$

Вес участков колонны для рабочих условий складывается из веса кожуха этого участка и суммы весов элементов расположенных на этом участке, Н:

$$G_{р1} := (1.2 \cdot M_{ц1} + 8M_T + M_{слоя}) \cdot 9.8 = 1.164 \times 10^5$$

$$G_{р2} := [1.2 \cdot M_{ц2} + 20(M_T + M_{слоя})] \cdot 9.8 = 5.469 \times 10^5$$

$$G_{р3} := [1.2 \cdot M_{ц2} + 20(M_T + M_{слоя})] \cdot 9.8 = 5.469 \times 10^5$$

$$G_{р4} := [1.2 \cdot M_{ц2} + 20(M_T + M_{слоя})] \cdot 9.8 = 5.469 \times 10^5$$

$$G_{р5} := [1.2 \cdot M_{ц2} + 20(M_T + M_{слоя})] \cdot 9.8 = 5.469 \times 10^5$$

$$G_{р6} := [1.2 \cdot M_{ц2} + 20(M_T + M_{слоя})] \cdot 9.8 = 5.469 \times 10^5$$

$$G_{p7} := [1.2 \cdot M_{ц2} + 20(M_T + M_{с\text{л\text{о}я})] \cdot 9.8 = 5.469 \times 10^5$$

$$G_{p8} := [1.2 \cdot M_{ц2} + 20(M_T + M_{с\text{л\text{о}я})] \cdot 9.8 = 5.469 \times 10^5$$

$$G_{p9} := (M_{ц9}) \cdot 9.8 = 1.556 \times 10^5$$

$$G_{p_{i,0}} := G_{p_{i+1}}$$

Вес участков колонны для условий монтажа складывается из веса кожуха этого участка и суммы весов элементов расположенных на этом участке.

$$G_{M1} := (1.2 \cdot M_{ц1}) \cdot 9.8 = 8.171 \times 10^4$$

$$G_{M2} := (1.2 \cdot M_{ц2}) \cdot 9.8 = 2.043 \times 10^5$$

$$G_{M3} := (1.2 \cdot M_{ц2}) \cdot 9.8 = 2.043 \times 10^5$$

$$G_{M4} := (1.2 \cdot M_{ц2}) \cdot 9.8 = 2.043 \times 10^5$$

$$G_{M5} := (1.2 \cdot M_{ц2}) \cdot 9.8 = 2.043 \times 10^5$$

$$G_{M6} := (1.2 \cdot M_{ц2}) \cdot 9.8 = 2.043 \times 10^5$$

$$G_{M7} := (1.2 \cdot M_{ц2}) \cdot 9.8 = 2.043 \times 10^5$$

$$G_{M8} := (1.2 \cdot M_{ц2}) \cdot 9.8 = 2.043 \times 10^5$$

$$G_{M9} := (M_{ц9}) \cdot 9.8 = 1.556 \times 10^5$$

$$G_{M_{i,0}} := G_{M_{i+1}}$$

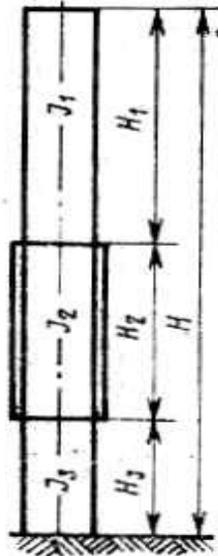


Рисунок 11. Расчетная схема

Поскольку диаметр колонны постоянен по высоте то высоты переменных сечений примем:

$$H_1 := 0$$

$$H_2 := 0$$

$$H_3 := 0$$

Примем класс ветрового района установки проектируемой колонны в соответствии с таблицей 1, ГОСТ Р 51272-99: III и нормативное значение ветрового давления, Н/м²:

$$q_0 := 350 \text{ Н/м}^2$$

В соответствии с ГОСТ Р 51273-99 расчету на сейсмические воздействия подлежат аппараты, предназначенные для установки в районах с сейсмичностью 7 и более баллов по шкале MSK-64. Примем сейсмичность равной, баллы:

$$ses := 7$$

Диаметр в верхней и нижней части колонны и опорной обечайки соответственно, м:

$$D_1 := 3.2 \text{ м}$$

$$D_2 := 3.2 \text{ м}$$

$$D_3 := 3.2 \text{ м}$$

Исполнительные толщины стенки в верхней, нижней частях колонны и толщина стенки опоры и изоляции соответственно, м:

$$S_1 := 0.022 \text{ м}$$

$$S_2 := 0.022 \text{ м}$$

$$S_0 := 0.040 \text{ м}$$

$$S_{\text{и}} := 0.05 \text{ м}$$

Поправка на атмосферную коррозию [41], м:

$$c := 0.003$$

Примем в соответствии с таблицей 2 ГОСТ Р 51273-99 аэродинамический коэффициент для аппарата:

$$K_{\text{аэр}} := 0.7$$

Площадь опорной площадки, м²:

$$A_f := 1.332$$

Коэффициент неравномерности сжатия грунта, примем для плотных грунтов в соответствии с ГОСТ Р 51273-99, Н/м³:

$$C_f := 15 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$$
$$C_f := \text{if} \left(A_f < 10, C_f \cdot \frac{3.2}{\sqrt{A_f}}, C_f \right)$$

$$C_f = 4.159 \times 10^8 \frac{\text{Ч}}{\text{м}}$$

Проверка необходимости расчета аппарата на ветровую и сейсмическую нагрузку

$$D_{\min} := \min(D_1, D_2, D_3) \quad D_{\min} = 3.2$$

spr1 := "Расчет на ветровую нагрузку проводить не требуется "

spr2 := "Расчет на ветровую и сейсмические нагрузки необходим"

spr3 := "Неверно введены высоты сечений"

$$I := \begin{cases} \text{spr1} \\ \text{spr2} & \text{if } H_k > 10 \wedge H_k \geq 1.5 \cdot D_{\min} \\ \text{spr2} & \text{if } H_k < 10 \wedge H_k > 5D_{\min} \\ \text{spr3} & \text{if } H_k \neq \sum_i h_{i,0} \end{cases}$$

I = "Расчет на ветровую и сейсмические нагрузки необходим"

5.8.1. Определение веса аппарата и расчетных коэффициентов

Вес аппарата при гидроиспытании, Н:

$$G_{r.\max} := \sum_i G_{r_i} \quad G_{r.\max} = 1882159.2769 \text{ Н}$$

Вес аппарата для рабочих условий, Н:

$$G_{p.\max} := \sum_i G_{p_i} \quad G_{p.\max} = 4100362.5921 \text{ Н}$$

Вес аппарата для условий монтажа, Н:

$$G_{m.\max} := \sum_i G_{m_i} \quad G_{m.\max} = 1667194.9628 \text{ Н}$$

Момент инерции верхней части колонны, м⁴:

$$I_1 := \frac{\pi}{8} \cdot (D_1 + S_1 - c)^3 \cdot (S_1 - c) \quad I_1 = 0.2489 \text{ м}^4$$

Момент инерции нижней части колонны, м⁴:

$$I_2 := \frac{\pi}{8} \cdot (D_2 + S_2 - c)^3 \cdot (S_2 - c) \quad I_2 = 0.2489 \text{ м}^4$$

Момент инерции опорной обечайки колонны, м⁴:

$$I_3 := \frac{\pi}{8} \cdot (D_3 + S_0 - c)^3 \cdot (S_0 - c) \quad I_3 = 0.4928 \text{ м}^4$$

Безразмерный коэффициент Δ :

$$\Delta := \frac{1}{3} + \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{H_2}{H_1} \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^2 + \frac{H_2}{H_1} + 1 \right] \quad \Delta = 0.333$$

Безразмерный коэффициент μ :

$$\mu := \frac{I_1}{I_3} \cdot \frac{H_3}{H_1} \cdot \left(\frac{H_3}{H_2} + 1 \right) \quad \mu = 0$$

Безразмерный коэффициент λ :

$$\lambda := \frac{I_1}{I_3} \cdot \frac{H_3}{H_1} \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{H_3}{H_1} \right)^2 + \frac{H_3}{H_1} + 1 \right] \quad \lambda = 0$$

Безразмерный коэффициент γ :

$$\gamma := \frac{2}{H_k^3} \cdot \left[H_1^3 \cdot (\Delta + \lambda) + H_2^3 \cdot \mu + 2 \cdot \frac{I_1}{I_3} \cdot H_1 \cdot H_2 \cdot H_3 \right] \quad \gamma = 0$$

5.8.2. Расчет для условий гидроиспытаний

Определение статической составляющей

Коэффициент Θ_i определим с помощью расчетного модуля:

$$\Theta_i := \begin{cases} \left(\frac{x_i}{10} \right)^{0.32} & \text{if } x_i > 10 \\ 1 & \text{if } x_i \leq 10 \end{cases}$$

$$\Theta_i = \begin{pmatrix} 1.922 \\ 1.864 \\ 1.774 \\ 1.674 \\ 1.558 \\ 1.421 \\ 1.248 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad x_i = \begin{pmatrix} 77 \\ 70 \\ 60 \\ 50 \\ 40 \\ 30 \\ 20 \\ 10 \\ 2.5 \end{pmatrix}$$

Нормативное значение статической составляющей, Н/м²:

$$q_i := q_0 \cdot \Theta_i \cdot K_{aэp}$$

$$q_i = \begin{pmatrix} 470.807 \\ 456.665 \\ 434.685 \\ 410.05 \\ 381.791 \\ 348.213 \\ 305.841 \\ 245 \\ 245 \end{pmatrix}$$

Статическая составляющая от ветровой нагрузки на каждом участке будет равна, Н:

$$P_{st_i} := q_i \cdot D_{H_i} \cdot h_i$$

$$P_{st_i} = \begin{pmatrix} 6.026 \times 10^3 \\ 1.461 \times 10^4 \\ 1.391 \times 10^4 \\ 1.312 \times 10^4 \\ 1.222 \times 10^4 \\ 1.114 \times 10^4 \\ 9.787 \times 10^3 \\ 7.84 \times 10^3 \\ 3.92 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad h_i = \begin{pmatrix} 4 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 5 \end{pmatrix}$$

Определение динамической составляющей ветровой нагрузки

Определения коэффициентов b_p , b_k

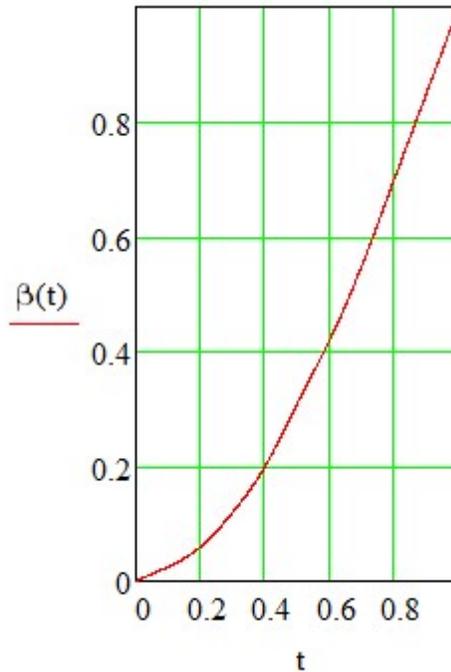
$$r := \frac{x}{H_k}$$

$$r = \begin{pmatrix} 0.975 \\ 0.886 \\ 0.759 \\ 0.633 \\ 0.506 \\ 0.38 \\ 0.253 \\ 0.127 \\ 0.032 \end{pmatrix}$$

```

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

```



$$\beta(r) = \begin{pmatrix} 0.962 \\ 0.829 \\ 0.638 \\ 0.46 \\ 0.317 \\ 0.181 \\ 0.089 \\ 0.032 \\ 8.194 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad \beta := \beta(r) \beta = \begin{pmatrix} 0.962 \\ 0.829 \\ 0.638 \\ 0.46 \\ 0.317 \\ 0.181 \\ 0.089 \\ 0.032 \\ 8.194 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

Относительное перемещение центров тяжести участков, 1/(Н*м):

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

Определение коэффициентов для расчета динамической составляющей

Для определения данных коэффициентов необходимо вычислить период собственных колебаний аппарата.

Период основного тона собственных колебаний аппарата переменного сечения следует определять по формуле

$$T_r := 2 \cdot \pi \cdot H_k \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{\text{last}(x)} [G_{r_i} \cdot (\alpha_i)^2]}{g \cdot \frac{H_k}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \gamma + \frac{1}{C_f \cdot I_3}}} \quad T_r = 0$$

С помощью модуля определения коэффициента динамичности при ветровой нагрузке x :

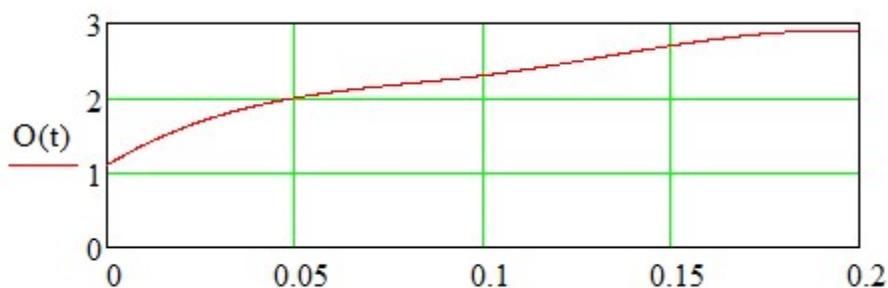
$$\varepsilon_{ww} := \frac{T_r \cdot \sqrt{q_0}}{840} \quad \varepsilon = 0$$

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

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

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

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



$$O(\varepsilon) = 1.1$$

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

$$\xi = 1.1$$

Рассчитаем коэффициент n по расчетному модулю:

$$\varepsilon := \text{if}(\varepsilon \leq 0.05, 0.05, \varepsilon)$$

$$\varepsilon_{0.05} := \text{if}(H_k \leq 60, -0.0033 \cdot H_k + 0.85, -0.0008 \cdot H_k + 0.7)$$

$$\varepsilon_{0.1} := \text{if}(H_k \geq 60, -0.0017 \cdot H_k + 0.85, 0.75) \quad \varepsilon_{0.05} = 0.637$$

$$\varepsilon_{0.2} := 0.75 \quad \varepsilon_{0.1} = 0.716$$

$$\nu := \begin{cases} \varepsilon_{0.05} & \text{if } \varepsilon \leq 0.05 \\ \varepsilon_{0.1} & \text{if } 0.1556 > \varepsilon > 0.05 \\ \varepsilon_{0.2} & \text{if } 0.1556 < \varepsilon \end{cases} \quad \varepsilon_{0.2} = 0.75$$

$$\nu = 0.637$$

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

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

Приведенное относительное ускорение центра тяжести i -го участка:

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

$$m_i = \begin{pmatrix} 0.433 \\ 0.439 \\ 0.45 \\ 0.464 \\ 0.481 \\ 0.503 \\ 0.537 \\ 0.6 \\ 0.6 \end{pmatrix} \quad x_i = \begin{pmatrix} 77 \\ 70 \\ 60 \\ 50 \\ 40 \\ 30 \\ 20 \\ 10 \\ 2.5 \end{pmatrix} \quad \eta_{\Gamma_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

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

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

$$P_{\Gamma, \text{dyn}_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad x_i = \begin{pmatrix} 77 \\ 70 \\ 60 \\ 50 \\ 40 \\ 30 \\ 20 \\ 10 \\ 2.5 \end{pmatrix}$$

Ветровая нагрузка в условиях гидроиспытаний

Ветровая нагрузка на i -м участке, Н:

$$P_{\Gamma_i} := P_{\text{st}_i} + P_{\Gamma, \text{dyn}_i}$$

$$P_{\Gamma_i} = \begin{pmatrix} 6.026 \times 10^3 \\ 1.461 \times 10^4 \\ 1.391 \times 10^4 \\ 1.312 \times 10^4 \\ 1.222 \times 10^4 \\ 1.114 \times 10^4 \\ 9.787 \times 10^3 \\ 7.84 \times 10^3 \\ 3.92 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Изгибающий момент в расчетном сечении от действия ветровой нагрузки

Коэффициент пульсации скоростного напора для середины участка определяем с помощью модуля определения коэффициента пульсации скоростного напора j-й площадки на высоте x_{jj} :

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

$x_{jj} =$	$m_{j,0} := m_j$
79	0.4311
75	0.4347
66.25	0.4434
57.5	0.4535
48.75	0.4657
40	0.4806
31.25	0.5
22.5	0.527
13.5	0.5719

$$\left[\frac{x_j}{H} \right] := \frac{x_j}{H_k}$$

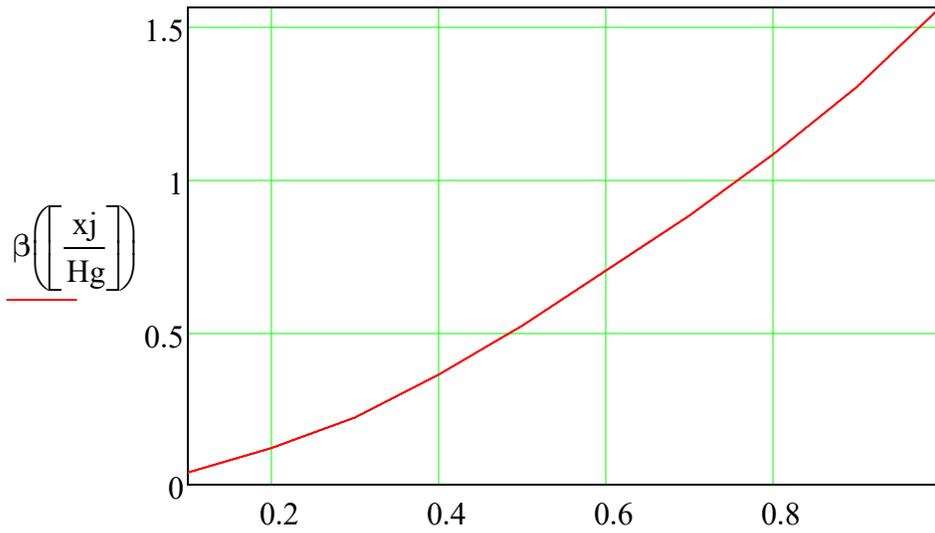
Коэффициент x_j в зависимости от $\left[\frac{x_j}{H} \right]$ определяют по расчетному модулю:

```

xx := (0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1)T
xjgr := (0.04 0.12 0.22 0.36 0.52 0.7 0.88 1.08 1.3 1.56)T
ww := cspline(xx, xjgr)

```

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



$$\beta\left(\left[\frac{x_j}{H}\right]\right) = \begin{pmatrix} 1.56 \\ 1.428 \\ 1.165 \\ 0.936 \\ 0.731 \\ 0.531 \\ 0.354 \\ 0.205 \\ 0.097 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \left[\frac{x_j}{H_g}\right] \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \quad \chi_j := \beta\left(\left[\frac{x_j}{H}\right]\right) \quad \chi_j = \begin{pmatrix} 1.56 \\ 1.428 \\ 1.165 \\ 0.936 \\ 0.731 \\ 0.531 \\ 0.354 \\ 0.205 \\ 0.097 \end{pmatrix}$$

Коэффициент Θ_j учитывающий изменение ветрового давления по высоте аппарата, определяют по расчетному модулю :

$$\Theta_j := \begin{cases} \left(\frac{x_j}{10}\right)^{0.32} & \text{if } x_j > 10 \\ 1 & \text{if } x_j \leq 10 \end{cases}$$

$$\Theta_{j,0} := \Theta_j$$

$$\Theta_j = \begin{pmatrix} 1.922 \\ 1.864 \\ 1.774 \\ 1.674 \\ 1.558 \\ 1.421 \\ 1.248 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad x_{j_j} = \begin{pmatrix} 79 \\ 75 \\ 66.25 \\ 57.5 \\ 48.75 \\ 40 \\ 31.25 \\ 22.5 \\ 13.5 \end{pmatrix}$$

Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте x_0 от действия ветровой нагрузки на обслуживающую площадку j :

$$M_{vj} := 0.85 \cdot q_0 \cdot \Theta_j \cdot [x_{j_j} - (x_0)] \cdot (1 + \xi \cdot \chi_j \cdot m_j) A_j$$

$$M_{vj} = \begin{pmatrix} 2.671 \times 10^6 \\ 2.671 \times 10^6 \end{pmatrix} \quad x_{j_j} = \begin{pmatrix} 79 \\ 75 \\ 66.25 \\ 57.5 \\ 48.75 \\ 40 \\ 31.25 \\ 22.5 \\ 13.5 \end{pmatrix} \quad x_{0_j} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 4 \\ 21.5 \\ 39 \\ 39 \\ 56.5 \\ 72.2 \\ 74 \end{pmatrix}$$

Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте x_0

$$n := 0 \dots hr_z - 1$$

$$M_{v2_n} := \sum_{i=0}^n [P_{\Gamma_i} \cdot (x_i - x_{0_i})] + \sum_{j=0}^{\text{last}(x)} M_{vj} = \dots$$

$$M_{v2_n} = \begin{pmatrix} 2.45 \times 10^7 \\ 2.55 \times 10^7 \\ 2.627 \times 10^7 \\ 2.665 \times 10^7 \\ 2.666 \times 10^7 \\ 2.656 \times 10^7 \\ 2.62 \times 10^7 \\ 2.572 \times 10^7 \\ 2.544 \times 10^7 \end{pmatrix} \quad x_{0_j} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 4 \\ 21.5 \\ 39 \\ 39 \\ 56.5 \\ 72.2 \\ 74 \end{pmatrix}$$

5.8.3. Расчет для рабочих условий

Определение статической составляющей

$$P_{st_1} := q_i \cdot D_{H_1} \cdot h_i$$

$$P_{st_1} = \begin{pmatrix} 6.026 \times 10^3 \\ 1.461 \times 10^4 \\ 1.391 \times 10^4 \\ 1.312 \times 10^4 \\ 1.222 \times 10^4 \\ 1.114 \times 10^4 \\ 9.787 \times 10^3 \\ 7.84 \times 10^3 \\ 3.92 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad h_i = \begin{pmatrix} 4 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 5 \end{pmatrix}$$

Определение вспомогательных величин

Период собственных колебаний для аппарата переменного сечения можно подсчитать в соответствии с ГОСТ Р 51273-99:

$$T_p := 2 \cdot \pi \cdot H_k \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{\text{last}(x)} [G_{p_i} \cdot (\alpha_i)^2]}{g \cdot \frac{H_k}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \gamma + \frac{1}{C_f \cdot I_3}}} \quad T_p = 0$$

Коэффициент динамичности при ветровой нагрузке x :

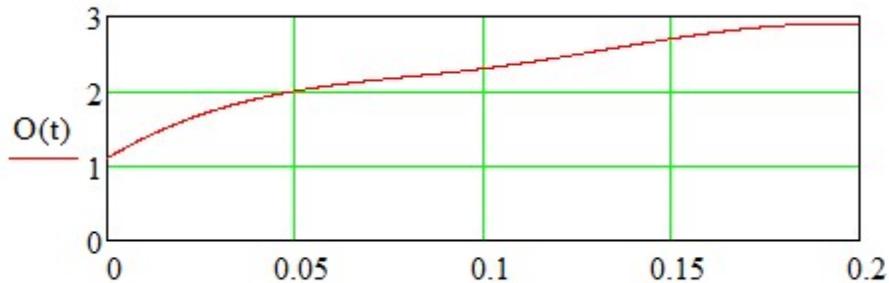
$$\underline{\varepsilon} := \frac{T_p \cdot \sqrt{q_0}}{840} \quad \varepsilon = 0$$

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

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

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

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



$$O(\varepsilon) = 1.1$$

$$\underline{\xi} := O(\varepsilon)$$

$$\xi = 1.1$$

Коэффициент μ находим по расчетному модулю в соответствии с ГОСТ Р 51273-99:

$$\underline{\varepsilon} := \text{if}(\varepsilon \leq 0.05, 0.05, \varepsilon)$$

$$\underline{\varepsilon}_{0.05} := \text{if}(H_k \leq 60, -0.0033 \cdot H_k + 0.85, -0.0008 \cdot H_k + 0.7)$$

$$\varepsilon_{0.05} = 0.637$$

$$\underline{\varepsilon}_{0.1} := \text{if}(H_k \geq 60, -0.0017 \cdot H_k + 0.85, 0.75)$$

$$\varepsilon_{0.1} = 0.716$$

$$\underline{\varepsilon}_{0.2} := 0.75$$

$$\varepsilon_{0.2} = 0.75$$

$$\underline{\mu} := \begin{cases} \varepsilon_{0.05} & \text{if } \varepsilon \leq 0.05 \\ \varepsilon_{0.1} & \text{if } 0.1556 > \varepsilon > 0.05 \\ \varepsilon_{0.2} & \text{if } 0.1556 < \varepsilon \end{cases}$$

$$\mu = 0.637$$

Приведенное относительное ускорение центра тяжести i -го участка:

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

$$\eta_{p_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad x_i = \begin{pmatrix} 77 \\ 70 \\ 60 \\ 50 \\ 40 \\ 30 \\ 20 \\ 10 \\ 2.5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Определение динамической составляющей ветровой нагрузки

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

$$P_{p.dyn_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad x_i = \begin{pmatrix} 77 \\ 70 \\ 60 \\ 50 \\ 40 \\ 30 \\ 20 \\ 10 \\ 2.5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Ветровая нагрузка для рабочих условий

Ветровая нагрузка на i -м участке, Н:

$$P_{p1} := P_{st.} + P_{p.dyn.}$$

$$P_{p_i} = \begin{pmatrix} 6.026 \times 10^3 \\ 1.461 \times 10^4 \\ 1.391 \times 10^4 \\ 1.312 \times 10^4 \\ 1.222 \times 10^4 \\ 1.114 \times 10^4 \\ 9.787 \times 10^3 \\ 7.84 \times 10^3 \\ 3.92 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad x_i = \begin{pmatrix} 77 \\ 70 \\ 60 \\ 50 \\ 40 \\ 30 \\ 20 \\ 10 \\ 2.5 \end{pmatrix}$$

Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте x_0 от действия ветровой нагрузки, Н*м:

$$M_{v1_n} := \sum_{i=0}^n [P_{p_i} \cdot (x_i - x_{0_i})] + \sum_{j=0}^{\text{last}(x)} M_{vj}$$

$$M_{v1_n} = \begin{pmatrix} 2.45 \times 10^7 \\ 2.55 \times 10^7 \\ 2.627 \times 10^7 \\ 2.665 \times 10^7 \\ 2.666 \times 10^7 \\ 2.656 \times 10^7 \\ 2.62 \times 10^7 \\ 2.572 \times 10^7 \\ 2.544 \times 10^7 \end{pmatrix} \quad x_{0_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 4 \\ 21.5 \\ 39 \\ 39 \\ 56.5 \\ 72.2 \\ 74 \end{pmatrix}$$

Определение расчетных усилий от сейсмических воздействий

Значение сейсмического коэффициента для средних грунтов

$$K_s := \begin{cases} 0.025 & \text{if } ses = 7 \\ 0.050 & \text{if } ses = 8 \\ 0.100 & \text{if } ses = 9 \end{cases} \quad K_s = 0.025$$

Коэффициент динамичности при сейсмической нагрузке

$$D_k := \frac{\sum_i D_{H_i}}{5}$$

$$xx := (0.3 \ 0.4 \ 0.6 \ 0.8 \ 1 \ 1.2 \ 1.4 \ 1.6 \ 1.8 \ 2.2)^T$$

$$xy := (4.8 \ 4.75 \ 2.5 \ 1.8 \ 1.49 \ 1.25 \ 1.09 \ 1 \ 0.99 \ 0.92)$$

$$yx := (3.23 \ 2.5 \ 1.7 \ 1.26 \ 1 \ 0.8 \ 0.7 \ 0.6 \ 0.6 \ 0.6)$$

$$yy := \begin{cases} xy^T & \text{if } \left(\frac{H_k}{D_k}\right) \geq 5 \\ yx^T & \text{if } \left(\frac{H_k}{D_k}\right) \leq 5 \end{cases}$$

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

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

$$O(T_p) = -10.694$$

$$\beta := \text{if} \left[T_p > 0.3, O(T_p), \text{if} \left[\left[\left(\frac{H_k}{D_k}\right) \geq 5 \right], 4.8, 3.23 \right] \right]$$

$$\beta = 4.8$$

Расчетная сейсмическая сила в середине i-го участка для первой формы колебаний колонны, H:

$$S_i := K_s \cdot \beta \cdot G_{p_i} \cdot \alpha_i \cdot \frac{\left[\sum_i (G_{p_i} \cdot \alpha_i) \right]}{\left[\sum_i [G_{p_i} \cdot (\alpha_i)^2] \right]} \quad S_i = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Расчетный изгибающий момент от сейсмических воздействий в соответствующем расчетном сечении на высоте X_0 при учете только первой формы колебаний, Н*м:

$$M_{R1_i} := S_i \cdot x_{0_i}$$

$$M_{R1_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad x_{0_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 4 \\ 21.5 \\ 39 \\ 39 \\ 56.5 \\ 72.2 \\ 74 \end{pmatrix}$$

Максимальный изгибающий момент в нижнем сечении колонны при учете только первой формы колебаний, Н*м:

$$M_{\max} := \sum_i (S_i \cdot x_i) \quad M_{\max} = 0$$

Расчетный изгибающий момент в нижнем сечении колонны с учетом влияний высших форм колебаний, Н*м:

$$M_{R1\max} := 1.25 \cdot M_{\max} \quad M_{R1\max} = 0$$

Если расчетная сейсмичность не входит в пределы 7-9 баллов, то определение расчетных усилий от сейсмических воздействий не производится и $M_{\max}=0$, $M_{R1}=0$, Н*м

$$M_{\max} := \text{if}(7 > \text{ses} > 9, 0, M_{\max}) \quad M_{\max} = 0$$

$$M_{R1\max} := \text{if}(7 > \text{ses} > 9, 0, M_{R1\max})$$

5.8.4. Расчет для условий монтажа

Определение статической составляющей

$$P_{st_i} := q_i \cdot D_{H_i} \cdot h_i$$

$$M_{R1max} = 0$$

$$h_i = \begin{pmatrix} 4 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 5 \end{pmatrix} \quad P_{st_i} = \begin{pmatrix} 6.026 \times 10^3 \\ 1.461 \times 10^4 \\ 1.391 \times 10^4 \\ 1.312 \times 10^4 \\ 1.222 \times 10^4 \\ 1.114 \times 10^4 \\ 9.787 \times 10^3 \\ 7.84 \times 10^3 \\ 7.84 \times 10^3 \\ 3.92 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Определение вспомогательных величин

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

$$T_M := 2 \cdot \pi \cdot H_k \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{\text{last}(x)} [G_{M_i} \cdot (\alpha_i)^2]}{g \cdot \frac{H_k}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \gamma + \frac{1}{C_f \cdot I_3}}} \quad T_M = 0$$

Коэффициента динамичности при ветровой нагрузке x

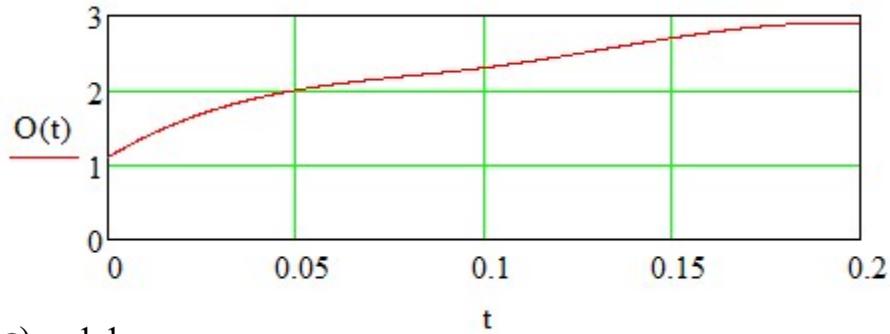
$$\varepsilon_{ww} := \frac{T_M \cdot \sqrt{q_0}}{840} \quad \varepsilon = 0$$

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

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

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

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



$$O(\varepsilon) = 1.1$$

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

$$\xi = 1.1$$

Коэффициент n находим по расчетному модулю:

$$\varepsilon := \text{if}(\varepsilon \leq 0.05, 0.05, \varepsilon)$$

$$\varepsilon_{0.05} := \text{if}(H_k \leq 60, -0.0033 \cdot H_k + 0.85, -0.0008 \cdot H_k + 0.7)$$

$$\varepsilon_{0.05} = 0.637$$

$$\varepsilon_{0.1} := \text{if}(H_k \geq 60, -0.0017 \cdot H_k + 0.85, 0.75)$$

$$\varepsilon_{0.1} = 0.716$$

$$\varepsilon_{0.2} := 0.75$$

$$\nu := \begin{cases} \varepsilon_{0.05} & \text{if } \varepsilon \leq 0.05 \\ \varepsilon_{0.1} & \text{if } 0.1556 > \varepsilon > 0.05 \\ \varepsilon_{0.2} & \text{if } 0.1556 < \varepsilon \end{cases}$$

$$\nu = 0.637$$

Приведенное относительное ускорение центра тяжести i -го участка:

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

$$\eta_{M_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad x_i = \begin{pmatrix} 77 \\ 70 \\ 60 \\ 50 \\ 40 \\ 30 \\ 20 \\ 10 \\ 2.5 \end{pmatrix}$$

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

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

$$P_{M.dyn_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad x_i = \begin{pmatrix} 77 \\ 70 \\ 60 \\ 50 \\ 40 \\ 30 \\ 20 \\ 10 \\ 2.5 \end{pmatrix}$$

Ветровая нагрузка для условий монтажа

Ветровая нагрузка на i -м участке, H :

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

$$P_{M_i} = \begin{pmatrix} 6.026 \times 10^3 \\ 1.461 \times 10^4 \\ 1.391 \times 10^4 \\ 1.312 \times 10^4 \\ 1.222 \times 10^4 \\ 1.114 \times 10^4 \\ 9.787 \times 10^3 \\ 7.84 \times 10^3 \\ 3.92 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad x_i = \begin{pmatrix} 77 \\ 70 \\ 60 \\ 50 \\ 40 \\ 30 \\ 20 \\ 10 \\ 2.5 \end{pmatrix}$$

Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте x_0 от действия ветровой нагрузки

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

$$M_{v3_n} = \begin{pmatrix} 2.45 \times 10^7 \\ 2.55 \times 10^7 \\ 2.627 \times 10^7 \\ 2.665 \times 10^7 \\ 2.666 \times 10^7 \\ 2.656 \times 10^7 \\ 2.62 \times 10^7 \\ 2.572 \times 10^7 \\ 2.544 \times 10^7 \end{pmatrix} \quad x_{0_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 4 \\ 21.5 \\ 39 \\ 39 \\ 56.5 \\ 72.2 \\ 74 \end{pmatrix}$$

Определение расчетных усилий от сейсмических воздействий:

Значение сейсмического коэффициента для средних грунтов:

$$K_s := \begin{cases} 0.025 & \text{if } ses = 7 \\ 0.050 & \text{if } ses = 8 \\ 0.100 & \text{if } ses = 9 \end{cases} \quad K_s = 0.025$$

Коэффициент динамичности при сейсмической нагрузке, в соответствии с ГОСТ Р 51273-99:

$$D_k := \frac{\sum_i D_{H_i}}{5}$$

$$xx := (0.3 \ 0.4 \ 0.6 \ 0.8 \ 1 \ 1.2 \ 1.4 \ 1.6 \ 1.8 \ 2.2)^T$$

$$yx = (3.23 \ 2.5 \ 1.7 \ 1.26 \ 1 \ 0.8 \ 0.7 \ 0.6 \ 0.6 \ 0.6)$$

$$yy := \begin{cases} xy^T & \text{if } \left(\frac{H_k}{D_k} \right) \geq 5 \\ yx^T & \text{if } \left(\frac{H_k}{D_k} \right) \leq 5 \end{cases}$$

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

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

$$O(T_M) = -10.694$$

$$\beta := \text{if} \left[T_M > 0.3, O(T_M), \text{if} \left[\left[\left(\frac{H_k}{D_k} \right) \geq 5 \right], 4.8, 3.23 \right] \right]$$

$$\beta = 4.8$$

Расчетная сейсмическая сила в середине i-го участка для первой формы колебаний колонны, H:

$$S_i := K_s \cdot \beta \cdot G_{M_i} \cdot \alpha_i \cdot \frac{\left[\sum_i (G_{M_i} \cdot \alpha_i) \right]}{\left[\sum_i [G_{M_i} \cdot (\alpha_i)^2] \right]}$$

Расчетный изгибающий момент от сейсмических воздействий в соответственном расчетном сечении на высоте X_0 при учете только первой формы колебаний, H*м:

$$M_{R3_i} := S_i \cdot x_{0_i}$$

$$M_{R3_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad x_{0_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 4 \\ 21.5 \\ 39 \\ 39 \\ 56.5 \\ 72.2 \\ 74 \end{pmatrix}$$

Максимальный изгибающий момент в нижнем сечении колонны при учете только первой формы колебаний, H*м:

$$M_{\max} := \sum_i (S_i \cdot x_i) \quad M_{\max} = 0$$

Расчетный изгибающий момент в нижнем сечении колонны с учетом влияний высших форм колебаний, H*м:

$$M_{R3\max} := 1.25 \cdot M_{\max} \quad M_{R3\max} = 0$$

Если расчетная сейсмичность не входит в пределы 7-9 баллов, то определение расчетных усилий от сейсмических воздействий не производится и $M_{\max}=0$, $M_{R1}=0$, H·м:

$$M_{\max} := \text{if}(7 > \text{ses} > 9, 0, M_{\max}) \quad M_{\max} = 0$$

$$M_{R3\max} := \text{if}(7 > \text{ses} > 9, 0, M_{R3\max}) \quad M_{R3\max} = 0$$

Модуль связи:

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

$$MFS_{i,4} := M_{R1_i} \quad MFS_{i,5} := M_{R3_i} \quad MFS_{1,6} := G_{p,max}$$

$$MFS_{3,6} := G_{M,max}$$

$$MFS_{2,6} := G_{Г,max}$$

	0	1	2	3
0	0	$2.4502 \cdot 10^7$	$2.4502 \cdot 10^7$	$2.4502 \cdot 10^7$
1	2	$2.5495 \cdot 10^7$	$2.5495 \cdot 10^7$	$2.5495 \cdot 10^7$
2	4	$2.6274 \cdot 10^7$	$2.6274 \cdot 10^7$	$2.6274 \cdot 10^7$
MFS = 3	21.5	$2.6648 \cdot 10^7$	$2.6648 \cdot 10^7$	$2.6648 \cdot 10^7$
4	39	$2.6661 \cdot 10^7$	$2.6661 \cdot 10^7$	$2.6661 \cdot 10^7$
5	39	$2.656 \cdot 10^7$	$2.656 \cdot 10^7$	$2.656 \cdot 10^7$
6	56.5	$2.6203 \cdot 10^7$	$2.6203 \cdot 10^7$	$2.6203 \cdot 10^7$
7	72.2	$2.5715 \cdot 10^7$	$2.5715 \cdot 10^7$	$2.5715 \cdot 10^7$
8	74	$2.5435 \cdot 10^7$	$2.5435 \cdot 10^7$...

Максимальный изгибающий момент, Н·м:

$$M_{\max MFS} := \max(MFS) = 2.666 \times 10^7 \text{ Н·м}$$

5.9. Расчет опорной обечайки

Установка химических аппаратов на фундаменты или специальные несущие конструкции осуществляется большей частью с помощью опор. Для установки данного вертикального аппарата используем цилиндрическую опору.

Расчет веса всего аппарата в рабочем состоянии:

В соответствии с рекомендацией [41, с.105] и ГОСТ Р 51273-99, для аппаратов высотой более 10 метров, при отношении высоты к диаметру колонны больше 4,5, в целях увеличения устойчивости колонны, в качестве исполнительного типа опорной обечайки рекомендуется выбирать цилиндрическую опорную обечайку.

$$D_H := D + 2S \cdot 10^{-3}$$

1) Масса цилиндрической обечайки, кг:

$$M_{\text{цилиндрич}} := \pi \cdot \left(\frac{D_H^2 - D^2}{4} \right) \cdot \rho \cdot H \cdot 10^{-3}$$

$$M_{\text{цилиндрич}} = 1.285 \times 10^5 \text{ кг}$$

2) Масса днища и крышки, в соответствии с ГОСТ 6533-78, кг:

$$M_{\text{днища}} := 2379.6 \text{ кг}$$

$$M_{\text{днища.крышк}} := 2 \cdot M_{\text{днища}} = 4.759 \times 10^3 \text{ кг}$$

3) Масса штуцеров и фланцев, кг:

Масса штуцера для ввода флегмы:

$$M_{100} := 14.06 \text{ кг}$$

Масса штуцеров для отвода кубового остатка, вывода паров дистиллята, ввода паров кубовой смеси:

$$M_{80} := 11.26 \text{ кг}$$

$$M_{\text{общая1}} := 4 \cdot M_{80} = 45.04 \text{ кг}$$

Общая масса всех штуцеров и фланцев, кг:

$$M_{\text{общ.штуцер}} := M_{\text{общая1}} + M_{100} = 59.1 \text{ кг}$$

4) Масса люк-лазов, кг:

$$G_{\text{люков}} := 4 \cdot G_{\text{люка}} = 912 \text{ кг}$$

5) Масса воды в аппарате при гидравлических испытаниях, кг:

$$M_{\text{воды}} := \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \cdot \rho_{\text{в}} \cdot 10^{-3} = 5.951 \times 10^5 \text{ кг}$$

6) Масса тарелок, кг:

$$M_{\text{тарел}} := 255.5$$

$$M_{\text{тарел.общ}} := 134 \cdot M_{\text{тарел}} = 3.424 \times 10^4 \text{ кг}$$

7) Общая масса аппарата, кг:

Примем, что масса вспомогательных устройств (мерительных приборов, стропильных устройств) составляет 10% от массы всей колонны без среды.

Общая масса крышки, днища и цилиндрической обечайки, кг:

$$M_{\text{обеч}} := M_{\text{цилиндрич}} + M_{\text{днища.крышк}} + M_{\text{общ.штуцер}}$$

$$M_{\text{обеч}} = 1.334 \times 10^5 \text{ кг}$$

Общая масса пустого аппарата, кг:

$$M_{\text{общая.пустого}} := 1.1 \cdot (M_{\text{обеч}} + G_{\text{люков}} + M_{\text{тарел.общ}}) = 1.854 \times 10^5 \text{ кг}$$

Общая масса аппарата при гидравлических испытаниях, кг:

$$M_{\text{полн.аппарата}} := M_{\text{общая.пустого}} + M_{\text{воды}} = 7.805 \times 10^5 \text{ кг}$$

Вес аппарата, МН:

$$G_{\text{полн.аппарата}} := M_{\text{полн.аппарата}} \cdot 9.8 \cdot 10^{-6} = 7.649 \text{ МН}$$

$$G_{\text{пуст.аппарата}} := M_{\text{общая.пустого}} \cdot 9.8 \cdot 10^{-6} = 1.816 \text{ МН}$$

Тогда:

$$\text{максимальный вес аппарата} \quad G_{\text{max}} := G_{\text{полн.аппарата}}$$

$$\text{минимальный вес аппарата} \quad G_{\text{min}} := G_{\text{пуст.аппарата}}$$

Изгиб выступающей части кольца, м:

$$b_{\text{оп}} := 0.06$$

Примем расчетную толщину стенки опорной обечайки в первом приближении, мм:

$$S_{\text{опоры.р}} := S_{\cdot} = 22 \text{ мм}$$

В качестве исполнительного материала обечайки выбираем сталь 09Г2С обладающую хорошей хладостойкостью. В соответствии с рекомендацией АТК 24.200.04-90 примем количество болтов равным [45]:

$$n_{\text{опоры}} := 20$$

Внутренний диаметр фундаментного кольца, м:

$$D_{.1} := D_{\text{н}} - 0.06 = 3.184 \text{ м}$$

Наружный диаметр фундаментного кольца, м:

$$D_{.2} := D_{.1} + 2 \cdot S_{\text{опоры.р}} \cdot 10^{-3} + 0.2 = 3.444 \text{ м}$$

Момент сопротивления изгибу опорной площадки фундаментного кольца [41, с.104], м³:

$$W := \frac{\pi}{32} \cdot \left[\frac{D_{.2}^4 - (D_{.1})^4}{D_{.2}} \right] = 1.163 \text{ м}^3$$

Опорная площадь фундаментного кольца, м²:

$$F_{\text{фунд.кольца}} := \frac{\pi \cdot (D_{.2}^2 - D_{.1}^2)}{4} = 1.353$$

Максимальной напряжением на опорной поверхности фундаментного кольца, Па:

$$\sigma_{\text{max1}} := \frac{G_{\text{max}}}{F_{\text{фунд.кольца}}} + \frac{M_{\text{maxMFS}} \cdot 10^{-6}}{W} = 28.574 \text{ МПа}$$

В качестве исполнительного материала болтов в соответствии с рекомендацией АТК 24.200.04-90 выбираем сталь 40Х.

Толщина фундаментного кольца, м:

$$\delta_{\text{к}} := b_{\text{оп}} \cdot \sqrt{3 \cdot \frac{\sigma_{\text{max1}}}{(\sigma_{\text{д.б}})}} = 0.037 \text{ м}$$

В соответствии с рекомендацией [41, с.105], расчетную толщину фундаментного кольца необходимо принять не менее, чем:

$$\delta_{\text{к}} = S_{\text{опоры}} + 6$$

В соответствии с таблицей 1, АТК24.200.04-90 примем толщину опоры равной, соответственно, мм:

$$S_{\text{опоры}} := 40 \text{ мм}$$

$$\delta_{\text{к}} := S_{\text{опоры}} + 6 = 46 \text{ мм}$$

Примем исполнительную толщину фундаментного кольца равной 50 мм.

Минимальное напряжение на опорной поверхности фундаментного кольца, МПа:

$$\sigma_{\text{min1}} := \frac{G_{\text{min}}}{F_{\text{фунд.кольца}}} - \frac{M_{\text{maxMFS}} \cdot 10^{-6}}{W} = -21.58 \text{ МПа}$$

Согласно [Семакина, с. 106] отрицательное значение σ_{min1} свидетельствует об отрыве фундаментного кольца от фундамента, т.е. фундаментные болты работают на растяжение.

Нагрузку на наиболее нагруженный болт Рб, МН:

$$P_{\text{б}} := \sigma_{\text{min1}} \cdot \frac{F_{\text{фунд.кольца}}}{n_{\text{опоры}}} = -1.46 \text{ МН}$$

Примем в соответствии с рекомендацией [8, с.106] прибавку на атмосферную коррозию равной:

$$c_{\text{к.атм}} := 0.03$$

Внутренний диаметр резьбы фундаментного болта определяются из условия прочности на растяжение, м:

$$d_0 := \sqrt{\frac{4 \cdot |P_{\text{б}}|}{\pi \cdot (\sigma_{\text{д.б}})}} + c_{\text{к.атм}} = 0.12 \text{ м}$$

Примем в соответствии с таблицей 1, АТК 24.200.04-90 исполнительный диаметр фундаментного болта равным:

$$d_{\text{болт.ф}} := 0.064 \text{ м}$$

Площадь опасного сечения сварного шва, м²:

$$f_{\text{с}} := \pi \cdot D_{\text{н}} \cdot 0.7 \cdot S_{\text{опоры}} \cdot 10^{-3} = 0.285$$

Момент сопротивления сварного шва изгибу, м³:

$$W_c := 0.8 \cdot 0.7 \cdot S_{\text{опоры}} \cdot D_H^2 = 235.727 \text{ м}^3$$

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

$$\sigma_c := \frac{\sigma_{\max 1}}{f_c} + \frac{(M_{\max \text{MFS}} \cdot 10^{-6})}{W_c} = 100.246 \text{ МПа}$$

Напряжение в сварном шве должно удовлетворять условию:

$$\text{Url_k} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_c \leq 0.8 \cdot (\sigma_{\text{д.б}}) \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Url_k = "Условие выполняется"

В соответствии с таблицей 1, АТК 24.200.04-90 в качестве исполнительного типа опоры принимаем цилиндрическую опору тип 2, с наружными стойками под болты с максимальной приведенной нагрузкой до 10 МН:

Таблица 10. Основные размеры выбранной цилиндрической опоры тип 2 по АТК 24.200.03-90

D, мм	D ₁ , мм	D ₂ , мм	D ₃ , мм	s, мм	Приведенная нагрузка, МН	
					до 8,0 МН	
					Фундаментный болт по ГОСТ 24379.1-80	
					d, мм	Количество
3200	20	36	36	40	64	20

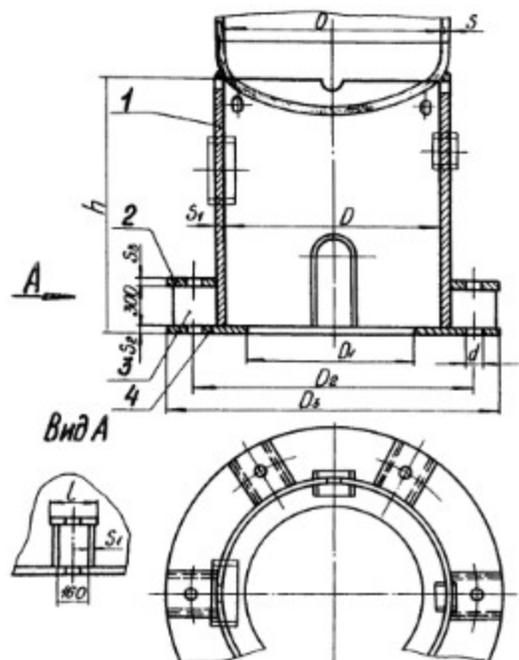


Рисунок 12. Опора цилиндрическая

В соответствии с рекомендацией [41, с.107] все отверстия в опорной обечайке диаметром более 100 мм необходимо укреплять патрубками с толщиной стенки не менее толщины стенки опорной обечайки, и длиной не менее $l_0 \geq 0.25 \cdot d_{\text{отв}}$ но не менее 50 мм.

5.10 Расчет тепловой изоляции

В соответствии с рекомендацией [12, с. 341] для уменьшения тепловых потерь и предохранения персонала от термических ожогов необходимо предусмотреть теплоизоляцию наружной поверхности ректификационной колонны. Цель расчета тепловой изоляции - определение исполнительной толщины слоя тепловой изоляции.

В соответствии с рекомендацией [2, с.177] для аппаратов, работающих на открытом воздухе в зимнее время, температура стенки находится в интервале от 0-10°C, примем $t_{ст2} = 10^\circ\text{C}$. Расчет толщины теплоизоляционного слоя материала можно проводить по упрощенной схеме, используя следующее уравнение:

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из} \cdot (t_{ст} - t_{из})}{\alpha_n \cdot (t_{из} - t_{окр})}$$

где, $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности изоляционного слоя; $t_{ст}$ - температура наружной стенки корпуса; $t_{из}$ - температура поверхности изоляционного слоя; α_n - коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду в соответствии с [2, с.177], $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$:

$$\alpha_n = 9.3 + 0.058 \cdot t_{ст2} = 9.3 + 0.058 \cdot 10 = 9.88 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

В качестве исполнительного материала тепловой изоляции примем совелит (85% магнезии + 15% асбеста), способный сохранять свои теплоизоляционные свойства на протяжении долго времени ($t_{экс} = 15$ лет), обладающей низкой горючестью (что особенно важно для данного взрыво- и пожароопасности производства), при этом изоляция из совелит не содержит коррозионных агентов, что является дополнительным преимуществом выбора данного исполнительного материала.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					115

Примем коэффициент теплопроводности в соответствии с [2, с.177], равным $\lambda_{из}=0,098$ Вт/м·К. Температуру стенки $t_{ст}$ - принимаем равной 52°C. Температуру изоляционного слоя примем равной 45°C. Температуру окружающей среды принимаем, для самых жестких условий равной -40°C.

Тогда:

$$\delta_{из} = \frac{0,098 \cdot (52 - 10)}{9,88 \cdot (10 - (-40))} = 0,0083 \text{ м}$$

$$\delta_{из} = 8,3 \text{ мм};$$

Примем исполнительную толщину тепло изоляции равной 10 мм.

									Лист
									116
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Скирдин Кирилл Вячеславович

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ОХТ
Уровень образования	Бакалавр	Направление	МАХП

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

1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта	Проведение предпроектного анализа. Анализ рынка. Выявление основных потребителей и конкурентов. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИТ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИТ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности производства товарного пропилена

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Расчет точки безубыточности
2. Расчет технико-экономических показателей

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Скирдин Кирилл Вячеславович		

6.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕССУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕССУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

6.1 Предпроектный анализ. Анализ рынка. Основные потребители и конкуренты.

К настоящему времени объем потребления полимеров в мире превысил 210 млн тонн, при этом потребление пропиленов составляет порядка 26%. С целью удовлетворения мировой потребности в полипропилене необходимо увеличение производственных мощностей в том числе и в России. За последние 10 лет производство полипропилена, в России увеличилось в двое, показав динамичный рост по 10% в год.

Основной вклад в прирост производства внесли два новых завода: "Полиом" в г. Омске (Группа компаний "Титан", СИБУР и "Газпром нефть"), запущенный в промышленную эксплуатацию в феврале 2013 года, а также "Тобольск-Полимер" в Тюменской области (СИБУР). Мощность предприятий составляет 210 тыс. тонн и 500 тыс. тонн полипропилена соответственно [46, с.7].

Продукт: товарный пропилен. Используется при изготовлении упаковочных материалов, труб для водоснабжения, пленки, товаров бытового назначения, канцтоваров и игрушек.

Целевой рынок: тепловые сети, население города, широкий спектр производств.

6.2 SWOT-анализ.

Качественный подход к описанию рисков заключается в детальном и последовательном рассмотрении содержательных факторов, несущих неопределенность, и завершается формированием причин основных рисков и мер по их снижению. Одной из методик анализа сильных и слабых сторон предприятия, его внешних, благоприятных возможностей и угроз является SWOT-анализ.

Таблица 11. SWOT-анализ.

										<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>						118

рынка	появления спроса	2. Привлечение новых заказчиков
У2. Риск невозможности импорта товаров из-за введения секторальных санкций	2. Использование отечественного сырья 3. Применение технологии к альтернативным источникам	3. Применение технологии к альтернативным источникам

6.3 Экономический расчет

6.3.1 Расчет производственной мощности

Примем за основной расчетный период один полный календарный год - 365 дней или 8760 часов. Поскольку проектируемая ректификационная колонна - установка непрерывного действия, примем режимные потери рабочего времени на выходные и праздники равным нулю. Примем часовую производительность оборудования в соответствии с [1] равной 20250 кг/час. Примем в соответствии [1] количество однотипного оборудования, установленного в цехе (колонны с одинаковой производительностью) - 2 шт.

Производственная мощность оборудования в год, рассчитывается в соответствии с [47, с.4] по формуле:

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

$$M = 20250 \cdot 8760 \cdot 1 = 177\,446\,250 \text{ кг}$$

где, $P_{\text{час}}$ - часовая производительность оборудования в натуральных единицах; $T_{\text{эф}}$ - эффективный фонд времени работы оборудования (час.); $K_{\text{об}}$ - количество однотипного оборудования, установленного в цехе.

Эффективный фонд времени оборудования, в соответствии с [47, с.4] по формуле:

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{ППР}} - T_{\text{ТО}}$$

$$T_{\text{эф}} = 365 - 5 - 3 = 357 \text{ дней}$$

где, $T_{\text{ном}}$ - номинальный фонд работы оборудования; $T_{\text{ППР}}$ - время простоя в ремонтах за расчетный период (для расчета $T_{\text{ППР}}$ необходимо построить график ППР с указанием времени работы между ремонтами и временем простоя в ремонте); $T_{\text{ТО}}$ - время технологических остановок.

Номинальный фонд работы оборудования, в соответствии с [47, с.4] по формуле:

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}$$

$$T_{\text{ном}} = 365 - 0 = 365 \text{ дней}$$

где, $T_{\text{вых}}$ - количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ - количество праздничных дней в году.

В соответствии с [1] простой оборудования на ремонт - 3 дня, и дополнительно 1 день - время технологических остановок, запаса на незапланированные ремонтные работы и на полный запуск производства.

Таблица 12. Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8 760)
Режимные потери рабочего времени: <ul style="list-style-type: none"> • выходные; • праздники; 	-
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8 760)
Простой оборудования в ремонтах	4 (96)
Эффективное время работы оборудования за год	361 (8 664)

В соответствии с рекомендацией [47, с.4] для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты. Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен:

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

$$K_{\text{экс}} = 361/365 = 0,989$$

В соответствии с действующим регламентом производства цеха мономеров максимальная производительность проектируемой установки составляет 487,5 т/стуки.

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен:

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

$$K_{\text{инт}} = 486/486 = 1$$

где, $Q_{шт}$ - производительность единицы оборудования в единицу времени;
 Q_{max} - максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{им} = K_{экс} \cdot K_{инт}$$

$$K_{им} = 1 \cdot 0,989 = 0,989$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ($N_{год}$):

$$N_{год} = K_{им} \cdot M$$

$$N_{год} = 0,989 \cdot 1,735 \cdot 10^8 = 1,71 \cdot 10^8 \text{ кг} = 171\,159,8 \text{ т}$$

где, $K_{им}$ - коэффициент использования мощности.

6.3.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

1. Расчет численности персонала

Произведем расчет нормы выработки по формуле [48]:

$$H_{обс} = T_d / t_{об}$$

где, T_d - действительный фонд рабочего времени, ч; $t_{об}$ - установленная норма времени на обслуживание единицы оборудования, ч.

Примем количество праздничных дней в соответствии с [49] равным 28 дням.

Примем коэффициент, учитывающий потери времени по болезни в соответствии с [50] равным 0,98.

Произведем расчет действительного фонд рабочего времени в соответствии с [6, с.] по уравнению:

$$T_d = (T_{ном} - T_{пр} \cdot t_{смены}) \cdot \eta$$

$$T_d = (8760 - 28 \cdot 12) \cdot 0,98 = 8\,255 \text{ часов}$$

где, $T_{пр}$ - количество праздничных дней; $t_{смены}$ - время смены; η - коэффициент учитывающий потери времени по болезни.

Примем установленную норму времени на обслуживание единицы оборудования в соответствии с [1, с.] в течении года, 8760 часов, для основных рабочих, и 4380 часов.

Тогда, норма выработки, ч:

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					122

$$H_{\text{обс}} = 8\ 255/8\ 760 = 0,94$$

$$H_{\text{обс}} = 8\ 255/4\ 380 = 1,88$$

Таблица 13. Расчет численности персонала основных и вспомогательных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания	Число смен в сутки, S	Число единиц оборудования, n	Явочная численность, R _{яв}	Эффективное время рабочего часов в год, T _{эфф}	Списочная численность, R _{сп}
	H _{обс}					
Основные рабочие	0,94	2	2	24	4896	42
Вспомогательные рабочие	1,88	1	2	14		24
Итого				38 чел.		66 чел.

Таблица 14. Расчет численности ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц, чел	Количество смен в сутках	Зарплата, руб/час
Начальник цеха	ИТР	14	1	1	480
Технолог	ИТР	10	1	1	360
Энергетик	ИТР	13	1	1	444
Механик	ИТР	9	1	1	306
Младший обслуживающий персонал	МОП	1	1	1	160
Водители на производстве и отгрузке		2	1	1	175
Итого:			8 чел.		

Таблица 15. Численность основного персонала

где, $Ч_{сп}$ - списочная численность рабочих данного разряда, чел.; $T_{сп}$ - зарплата сотрудника в час, руб.

1.1. Инженерно-технические работники и младший обслуживающий персонал.

Начальник цеха $З_T = 1 \cdot 480 \cdot 4896 = 2\,350\,080$ руб.;

Технолог $З_T = 1 \cdot 360 \cdot 4896 = 1\,762\,500$ руб.;

Энергетик $З_T = 1 \cdot 444 \cdot 4896 = 1\,684\,000$ руб.;

Механик $З_T = 1 \cdot 306 \cdot 4896 = 1\,498\,000$ руб.;

Уборщица $З_T = 1 \cdot 160 \cdot 4896 = 783\,800$ руб.;

Водитель $З_T = 1 \cdot 105 \cdot 4896 = 514\,200$ руб.;

1.2. Основной персонал.

Аппаратчик ТУ $З_T = 26 \cdot 280 \cdot 4896 = 35\,642\,000$ руб.;

Электрик $З_T = 1 \cdot 235 \cdot 4896 = 1\,150\,000$ руб.;

Слесарь по обслуживанию $З_T = 9 \cdot 270 \cdot 4896 = 11\,897\,880$ руб.

1.3. Вспомогательный персонал.

Аппаратчик ТУ $З_T = 22 \cdot 280 \cdot 4896 = 30\,159\,160$ руб.;

Электрик $З_T = 1 \cdot 235 \cdot 4896 = 1\,150\,000$ руб.;

Слесарь-ремонтник $З_T = 1 \cdot 270 \cdot 4896 = 1\,321\,920$ руб.

Итого: $З_{тар} = 89\,913\,540$ руб.

Примем количество премий в год - 1 шт., в размере 70% от тарифного фонда заработной платы в соответствии с рекомендацией [47, с.5]:

$$П_p = 0,7 \cdot 89\,913\,540 = 62\,939\,478 \text{ руб.}$$

В соответствии со статьей 154 Трудового кодекса РФ [51, с. 69] примем доплату за работу в ночное время равной 20% от тарифной части сотрудников работающих в две смены (от совокупных издержек на оплату труда основного персонала в год):

$$Д_{н.вр} = 0,2 \cdot 48\,689\,880 = 9\,737\,976 \text{ руб.}$$

В соответствии со статьей 153 Трудового кодекса РФ [51, с. 69] примем доплату за работу в праздничные дни время равной двойному окладу от

									Лист
									126
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

тарифной части основного персонала, учтя кол-во рабочих часов за смену, и совокупные издержки на оплату труда основного персонала в час:

$$D_{\text{пр.дни}}=28 \cdot 2 \cdot [12 \cdot (280 \cdot 26 + 235 + 9 \cdot 270)] = 6\,683\,440 \text{ руб.}$$

Произведем расчет доплаты за период ремонта, в котором с учетом кол-ва рабочих часов за смену, и совокупные издержки на оплату труда основного и вспомогательного персонала в час, по основному тарифу руб.:

$$D_{\text{ремонт}}=4 \cdot [12 \cdot (280 \cdot 48 + 2 \cdot 235 + 9 \cdot 270)] = 797\,280 \text{ руб.}$$

2. Произведем расчет основного фонда заработной платы для рабочих повременщиков, согласно формуле [47, с.5]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + P_{\text{р}} + D_{\text{н.вр}} + D_{\text{пр.дни}} + D_{\text{ремонт}}$$

где, $Z_{\text{тар}}$ - тарифный фонд заработной платы, руб; $P_{\text{р}}$ - оплата премий, тыс. руб; $D_{\text{н.вр}}$ - доплата за работу в ночное время, руб; $D_{\text{пр.дни}}$ - доплата за работу в праздничные дни, руб; $D_{\text{ремонт}}$ - доплата за период ремонта, руб.

$$Z_{\text{осн}} = 89\,913\,540 + 62\,939\,478 + 9\,737\,976 + 6\,683\,440 + 797\,280 = 170\,071\,714 \text{ руб.}$$

3. Произведем расчет дополнительных зарплат $Z_{\text{доп}}$, согласно формуле:

$$Z_{\text{доп}} = (D_{\text{н}} \cdot Z_{\text{осн}}) / T_{\text{ЭФФ}}$$

где, $D_{\text{н}}$ - количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

$$Z_{\text{доп}} = (38 \cdot 170\,071\,714) / 4896 = 1\,320\,001 \text{ руб.}$$

4. Произведем расчет общего фонда заработной платы рабочих за год:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

где, $Z_{\text{осн}}$ - основной фонд заработной платы рабочих, тыс. руб; $Z_{\text{доп}}$ - дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

$$Z_{\text{год}} = 170\,071\,714 + 1\,320\,001 = 171\,391\,715 \text{ руб.}$$

Согласно статье 316 Трудового кодекса РФ [51, с. 129] при расчете размера номинальной заработной платы необходимо учитывать районный коэффициент. Районный коэффициент для города Томска - 13% [47, с.7].

									Лист
									127
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Кроме того необходимыми в соответствии с Трудовым кодексом РФ являются отчисления в фонд защиты населения (30%), и отчисления на обязательное медицинское страхование (0,6%):

$$(0,13+0,30+0,06) \cdot 171\,391\,715 = 74\,726\,787 \text{ руб.}$$

5. Тогда общие издержки связанные с оплатой труда в расчетный период, руб.:

$$206\,118\,503 \text{ руб.}$$

6.3.3 Расчет капитальных затрат

Поскольку проектируемая колонна (и все основное оборудование) ввиду значительных габаритных размеров, будет установлено на открытой площадке, необходимости в создании производственного помещения для размещения оборудования нет. Необходимым и достаточным является строительство здания для сотрудников ИТР, МОП, основного и вспомогательного персонала. Поскольку общая численность персонала - 66 человек (таблица 17). В соответствии с нормами СНиП 2.09.04-85 "Административные и бытовые здания" [52]. Согласно таблице 6, СНиП 2.09.04-85 санитарная характеристика проектируемого здания: 1-я группа производственных процессов - производства в отапливаемых зданиях с нормальной влажностью. В соответствии с таблицей 14, СНиП 2.09.04-85 необходимая площадь служебных помещений на 1 человека : 4 м².

Общая площадь служебных помещений: $S_{сл} = 66 \cdot 4 = 264 \text{ м}^2$. Примем с запасом $S_{сл} = 300 \text{ м}^2$.

Выбираем под цех одноэтажное каркасное здание, с габаритными параметрами, представленными в таблице 20.

Таблица 20. Основные характеристики производственного помещения

Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Производственная площадь, м ²
30	10	3	300

Стоимость 1 м³: 38 856 руб.; [53]

Полная стоимость здания составит:

$$C_{зд} = 300 \cdot 38856 = 11\,656\,880 \text{ руб.}$$

Таблица 21. Расчет стоимости основного оборудования

Наименование основных средств	Цена, руб.	Количество, шт	Стоимость, руб.
Колонна ректификационная, К-17/1, К-17/2	18 000 000	2	36 000 000
Теплообменник (Т-66 - Т-69)	350 000	11	3 850 000
Колонна ректификационная, К-16	12 000 000	1	12 000 000
Газоотделитель, Т-63а	150 000	1	150 000
Печь пиролиза	1 166 000	6	7 000 000
Конденсатор, Т-63	80 000	2	160 000
Емкость, Е-34	30 000	3	90 000
Холодильник, Т-97	70 000	2	140 000
Насос, (Н-34 - Н-32)	40 000	10	400 000
Итого:			59 250 000

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

1) Транспортные расходы на перевозку оборудования, заготовительно-складские работы составляют 8% от стоимости оборудования, руб.:

$$Z_{тр} = 59\,250\,000 \cdot 0,08 = 4\,740\,000 \text{ руб.}$$

2) Стоимость монтажных работ составляет 20% от стоимости оборудования, руб.:

$$Z_{\text{монт.}} = 59\,250\,000 \cdot 0,2 = 11\,850\,000 \text{ руб.}$$

3) Стоимость специальных работ принимаем 10% от стоимости оборудования (строительство фундаментов, трубопроводов, пусконаладочных работ), руб:

$$Z_{\text{сп. р.}} = 59\,250\,000 \cdot 0,1 = 5\,925\,000 \text{ руб.}$$

4) Капитальные затраты на оборудование составят, руб:

$$Z_{\text{к. об.}} = C_{\text{об}} + Z_{\text{тр.}} + Z_{\text{монт.}} + Z_{\text{сп. р.}} = 59\,250\,000 + 4\,740\,000 + 11\,850\,000 + 5\,925\,000 = 81\,765\,000 \text{ руб.}$$

5) Сумма капитальных затрат:

$$\sum Z_{\text{кап}} = C_{\text{зд}} + Z_{\text{к. об.}} = 116\,568\,800 + 81\,765\,000 = 198\,333\,800 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на производство

1) Расходы на охрану труда и технику безопасности составляют 12% от $\Phi_{\text{общ}}$, руб.:

$$Z_{\text{о.т.}} = 11\,334\,100 \cdot 0,12 = 1\,360\,092 \text{ руб.}$$

2) Затраты на текущий ремонт здания составляют 2% от стоимости здания, руб.:

$$Z_{\text{т.р.}} = 11\,656\,880 \cdot 0,02 = 233\,137 \text{ руб.}$$

3) Содержание здания (включает в себя затраты на отопление, вентиляцию) - 2% от стоимости здания, руб.:

$$Z_{\text{сод.}} = 11\,656\,880 \cdot 0,02 = 233\,137 \text{ руб.}$$

4) Амортизационные отчисления - 3,7% от стоимости здания, руб.:

$$Z_{\text{ам.}} = 11\,656\,880 \cdot 0,037 = 431\,304 \text{ руб.}$$

5) Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания составляет:

$$\sum Z = 233\,137 + 233\,137 + 431\,304 = 897\,579 \text{ руб.}$$

6) Текущий ремонт производственного оборудования обходится в 7% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{т.р.}} = 59\,250\,000 \cdot 0,07 = 4\,147\,500 \text{ руб.}$$

7) Отчисления на амортизацию оборудования - 10% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{ам}} = 59\,250\,000 \cdot 0,1 = 5\,925\,000 \text{ руб.}$$

									Лист
									130
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

8) Расходы на содержание оборудования составляют 3% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{сод.}} = 59\,250\,000 \cdot 0,03 = 1\,777\,500 \text{ руб.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования составляет:

$$\Sigma Z = 4\,147\,500 + 5\,925\,000 + 1\,777\,500 = 10\,250\,000 \text{ руб.}$$

Таким образом, общепроизводственные расходы составят:

$$Z_{\text{общ.}} = 8\,975\,797 + 10\,250\,000 = 19\,225\,797 \text{ руб.}$$

6.3.4 Расчет технологических затрат

1. Расчет затрат на электроэнергию, производим по формуле:

$$Z_{\text{э.н.}} = T_{\text{э}} \cdot N_{\text{т}} \cdot T_{\text{р. об.}},$$

где $T_{\text{э}}$ - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.;

$N_{\text{т}}$ - суммарная мощность двигателей на производстве, кВт;

$T_{\text{р. об.}}$ - время работы оборудования в год, час (8 664 час.).

Примем в соответствии с [54] стоимость 1 кВт·ч электроэнергии в среднем по стране, руб.: 3,16 руб.

Примем в соответствии с [1] суммарная мощность двигателей на производстве, кВт: 185,5 кВт.

$$Z_{\text{э.н.}} = 3,16 \cdot 185,5 \cdot 8\,664 = 5\,078\,663 \text{ руб.}$$

2. Расчет издержек покупки попутного нефтяного газа, руб.:

$$Z_{\text{ст}} = T_{\text{к}} \cdot K$$

где, $T_{\text{к}}$ - стоимость 1т попутного нефтяного газа тыс. м³ (560 руб.);

K - годовой расход тыс. м³ [1].

$$Z_{\text{ст}} = 560 \cdot 35\,240 = 19\,712\,000 \text{ руб.}$$

3. Расчет издержек покупки бензина, руб.:

$$Z_{\text{ст}} = T_{\text{к}} \cdot K$$

где, $T_{\text{к}}$ - стоимость 1т бензина т (42 230 руб.);

K - годовой расход т. [1].

$$Z_{\text{ст}} = 42\,230 \cdot 55\,175 = 2\,330\,040\,250 \text{ руб.}$$

4. Расчет издержек покупки прочих реагентов, руб.:

$$Z_{\text{ст}} = T_{\text{к}} \cdot K$$

									Лист
									131
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

где, T_k - стоимость 1т попутного прочих реагентов т (2560 руб.);

K - годовой расход т. [1].

$$Z_{ст} = 2560 \cdot 1\,079 = 2\,762\,240 \text{ руб.}$$

5. Расчет затрат на воду, руб.:

$$Z_{вод.} = T_v \cdot T_{р. об.} \cdot V$$

где, T_v - стоимость 1м³ воды, руб. (4 руб/м³);

V - часовой расход воды, м³ (100 м³).

$$Z_{вод.} = 4 \cdot 8\,664 \cdot 100 = 3\,465\,600 \text{ руб.}$$

6. Расчет затрат на освещение, руб.:

$$Z_{осв.} = T_{Э} \cdot N_T \cdot T_{р. об.},$$

$N_T = 120$ кВт - суммарная мощность всего электрооборудования,

$$Z_{осв} = 3,16 \cdot 120 \cdot 8\,664 = 3\,285\,388 \text{ руб.}$$

7. Общие технологические затраты (без учета стоимости сырья), руб.:

$$Z_{о,о} = 3\,285\,388 + 3\,465\,600 + 5\,078\,663 = 11\,829\,651 \text{ руб.}$$

6.3.5 Калькуляция себестоимости получения 1 т товарного пропилена

Сумма цеховой себестоимости и общезаводских расходов составляет общезаводскую себестоимость:

$$C_{об. зав.} = C_{цех.} + Z_{об. зав.}$$

где, $C_{цех.}$ - цеховая себестоимость (складывается из суммы условно-переменных и условно-постоянных затрат);

$Z_{об.зав.}$ - общезаводские расходы (составляют 10 % от цеховой себестоимости).

Таблица 22. Проектная калькуляция себестоимости получения 1 тонны товарного пропилена (Q=171 159,8 т)

Статьи расходов	Ед. измерения	Цена ед. прод., руб.	Расход на 1 т товарного пропилена		Затраты на весь объем производства
			В нат. ед.	В руб./т	руб.
1. Затраты на сырье: Попутный нефтяной газ	тыс. м ³	560		115,16	19 712 000

затраты					
Условно постоянные затраты	руб.			3 800,4	650 507 615

Определение цены 1 т готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C \cdot (1 + P/100)$$

где, С - полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р - рентабельность продукции (%).

В соответствии с рекомендацией [47, с.8] Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%. Примем значение рентабельности продукции чуть выше среднего значения по отрасли - 25%, тогда:

$$Ц = 17\,614 \cdot (1 + 25/100) = 22\,017,5 \text{ руб.}$$

В результате сравнения со средними рыночными ценами, на товарный пропилен представленных в [55] было выявлено, что предлагаемая в условиях данного проекта цена на пропилен на 25% ниже рыночной, что обеспечивает конкурентно способность данного производства.

Экономическая оценка эффективности проекта

Выручка составит:

$$Пр_{об} = Ц \cdot V_{пр} = 22\,017,5 \cdot 177\,390 = 3\,768\,052\,933 \text{ руб.}$$

Следовательно, балансовая прибыль составит:

$$Пр_{бал} = Пр_{об} - С = 3\,768\,052\,933 - 3\,014\,851\,756 = 753\,201\,177 \text{ руб.}$$

Определим чистую прибыль производства:

$$Пр_{чист} = Пр_{бал} - 0,20 \cdot Пр_{бал}$$

$$Пр_{чист} = 753\,201\,177 - 0,20 \cdot 753\,201\,177 = 602\,560\,941 \text{ руб.}$$

По формуле находим точку безубыточности и сравниваем с графиком.

$$Q = Z_{пост} / (Ц - Z_{пер}) = 650\,507\,615 / (22\,017,5 - 13\,813) = 79\,287 \text{ тонн}$$

Из графика (рисунок 11) видно, что безубыточность данного производства составляет 79 287 т/год.

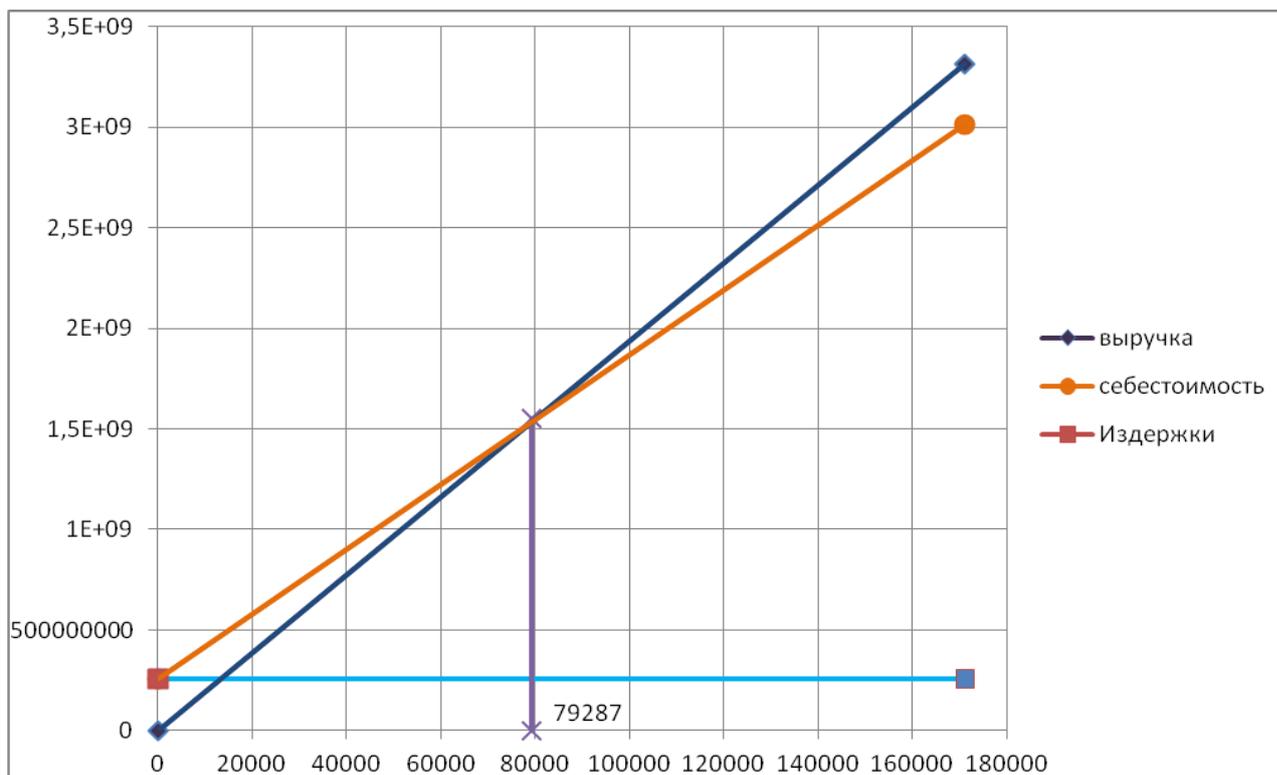


Рисунок 13. График безубыточности

Таблица 23. Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	т	171 159,8
2. Объем продаж	т	171 159,8
3. Цена 1 тонны	руб.	22 017,5
4. Выручка от продажи	руб.	3 768 052 933
5. Суммарные издержки	руб.	3 014 851 756
5.1. Издержки переменные	руб.	33 019 251
5.2. Издержки постоянные	руб.	37 666 987
6. Операционная прибыль (4–5)	руб.	753 201 177
7. Налог на прибыль (6*20%)	руб.	150 640 235
8. Чистая прибыль (6–7)	руб.	602 560 942
9. Себестоимость 1 тонны	руб.	17 614
10. Стоимость основных средств	руб.	70 906 880
11. Численность основных рабочих	чел.	36
12. Фондовооруженность (10/11)	руб./чел.	1 969 635
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	53,14
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,018
15. Производительность труда (4/11)	руб./чел.	104 668 137
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	19,98
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	15,99
18. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	т	79 287
19. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	руб.	1 745 701 523

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

вредных и опасных веществ необходимо принятия ряда мер, заключающихся в снижении производственных выбросов; совершенствовании производственных фильтров; защите расстоянием (расположение факелов на большом удалении от производственной площадки, на большой высоте); использование индивидуальных средств защиты.

В целях уменьшения пагубного влияния компьютера необходимо сокращение времени компьютерной работы, увеличение числа перерывов в соответствии с рекомендацией СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

В целях обеспечения электробезопасности необходимо создание системы предупреждающих знаков и оградительных устройств; наличие изоляции токопроводящих частей; использование малых напряжений; средства индивидуальной защиты.

В целях предотвращения опасности пожара необходимо применение пожарного инвентаря, индивидуальных средств защиты, первичных средств пожаротушения; разработка схем эвакуации персонала; инструктаж сотрудников.

Охрана окружающей среды:
 анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
 анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
 анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
 разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

Исследуемое производство не оказывает негативного воздействия на гидросферу и литосферу непосредственным образом, ввиду отсутствия сбросов жидких продуктов и твердых отходов, соответственно. Воздействие на атмосферу обусловлено наличием выбросов паров жидких углеводородов; наличием на производстве предохранительного клапана с выводом на факел. В целях снижения негативного воздействия на окружающую среду необходимо

Безопасность в чрезвычайных ситуациях:
 перечень возможных ЧС на объекте;
 выбор наиболее типичной ЧС;
 разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
 разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;
 разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

Перечень возможных ЧС на объекте: ЧС на пожаро- и взрывоопасных объектах, ЧС на электроэнергетических системах и системах связи,
 Наиболее типичная ЧС на объекте: пожаровзрывоопасность. Причинами могут служить:
 — технические неполадки, в результате которых происходит отклонение технологических параметров от регламентных значений, вплоть до разрушения оборудования;
 — неосторожное обращение с огнем при производстве ремонтных работ;
 — события, связанные с человеческим фактором: неправильные действия персонала, неверные организационные или проектные решения, постороннее вмешательство (диверсии) и т.п.;
 — внешнее воздействие техногенного или природного характера: аварии на соседних объектах, ураганы, землетрясения, наводнения, пожары.
 Превентивные меры по предупреждению ЧС: Соблюдение техники безопасности. Оснащение производственных зданий и территории

	<p>промплощадки первичными средствами пожаротушения и мероприятия по пожарной безопасности должны производиться в соответствии с «Приказ МЧС РФ от 18.06.2003 N 313 "Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03)»</p> <p>Местоположение первичных средств пожаротушения и пожарного инвентаря должно быть согласовано с органами пожарного надзора.</p>
<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</p>	<p>Принятая компоновка производственных помещений учитывает специфику технологического процесса, пожароопасные и токсические свойства участвующих в процессе веществ, а также необходимость создания нормальных условий труда для обслуживающего персонала.</p>

Перечень графического материала:

<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	-
---	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.04.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры	Раденков Тимофей Александрович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Скирдин Кирилл Вячеславович		

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Социальная ответственность - это ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения [56, с.9].

В соответствии с Федеральным законом "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.97 г. № 116-ФЗ 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 [57, с. 22-23].

В соответствии со статьей 37 второй главы Конституцией Российской Федерации: "Каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности ...". Согласно статье 7, п.2: "В РФ охраняется труд и здоровье людей, устанавливается гарантированный минимальный размер оплаты труда, обеспечивается гос. поддержка семьи, материнства, отцовства и детства, инвалидов и пожилых граждан". Согласно статье 41, п.1: "Каждый имеет право на охрану здоровья и медицинскую помощь". Согласно статье 42: "Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением" [58, с. 15-17].

Согласно ст. 212, посвященной обязанностям работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда, работодатель обязан

										Лист
										139
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

обеспечить: соответствующие требованиям охраны труда условия труда на каждом рабочем месте в соответствии с действующими нормативно-правовыми нормами: Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года "О специальной оценке условий труда"; Федеральный закон №184-ФЗ "О техническом регулировании от 27 декабря 2002 года; Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред от 10.07 2012г) "Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности" [59, с. 15-17].

7.1 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 пропан-пропиленовой фракции расположена на томской площадке ПАО "СИБУР Холдинг".

К опасным производственным факторам производства мономеров томской площадки ПАО "СИБУР Холдинг" относятся:

1. отравление парами углеводородов и иных токсичных веществ;
2. поражение электрическим током;
3. наличие оборудования и трубопроводов, работающих под давлением;
4. опасность получения термических ожогов;
5. возможность падения с высоты;
6. опасность возникновения взрыва и пожара.

К вредным производственным факторам производства мономеров томской площадки ПАО "СИБУР Холдинг" относятся:

1. недостаточная освещенность;
2. воздействие вибрации и различных шумов на производстве;
3. повышенная температура воздуха рабочей зоны, изменение микроклимата рабочей зоны;

										Лист
										140
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

4. воздействие паров углеводородов, продуктов сгорания углеводородов, обладающих раздражающими, сенсibiliзирующими и мутагенными свойствами.

5. воздействие компьютера;

В соответствии с рекомендацией [60, с.12] на предприятии должны быть соблюдены санитарно-гигиенические нормы по метеоусловиям. Особое внимание следует уделить освещению, отоплению и вентиляции цеха.

7.1.1. Выявление вредных и опасных факторов при эксплуатации ректификационной колонны

Освещенность

Рациональное освещение производственных помещений 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 главнейшим 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 СНиП 23-05-095 [61, с. 15].

В соответствии с таблицей 1 и таблицей 2 СНиП 23-05-95 выбраны следующие разряды зрительных работ:

										Лист
										141
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

В целях снижения уровня шума в производственных помещениях до допустимых значений в соответствии с СНиП 23-03-2003 [63, с.10-30]: предусмотрено:

1. установка вентагрегатов в отдельных выгороженных помещениях - венткамерах, расположенных в удаленных от рабочих мест частях здания;
2. подбор диаметров воздуховодов по средним скоростям в магистральных воздуховодах для уменьшения сопротивления сети (4 - 8 м/с);
3. плавное соединение воздуховодов 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.

На исследуемом производстве мономеров томской площадки ПАО "СИБУР Холдинг" отсутствуют источники вибрации, способные влиять на организм обслуживающего персонала. Установка машин и механизмов на отдельно стоящих фундаментах и виброизолирующих опорах, а также применение гибких вставок в узлах воздуховодов позволяет обеспечивать уровень вибрации в допустимых пределах.

Изменение микроклимата рабочей зоны

Микроклимат - климатические условия, созданные в ограниченном пространстве искусственно или обусловленные природными особенностями. Микроклимат закрытых помещений создается искусственно для того, чтобы обеспечить наиболее благоприятные условия для людей и предохранить их от неблагоприятных климатических воздействий. Микроклимат в рабочей зоне определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температурой окружающих

									Лист
									143
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

поверхностей. Повышенная влажность затрудняет теплоотдачу организма путем испарений при высокой температуре воздуха и способствует перегреву, а при низкой температуре, наоборот, усиливает теплоотдачу, способствуя переохлаждению. Оптимальны такие параметры микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакций терморегуляции, что создает ощущение теплового комфорта и служит предпосылкой для высокой работоспособности. Поддержание оптимального микроклимата возможно только в том случае, если предприятие оснащено установкам кондиционирования микроклимата. В остальных случаях следует обеспечивать допустимые микроклиматические условия, т.е. такие, при которых хотя и могут возникать напряжения терморегуляции организма, но не выходят за пределы его физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникают нарушения состояния здоровья, но может наблюдаться ухудшение самочувствия и понижение работоспособности. Микроклимат производственных помещений определяется назначением помещения и характером технологического процесса [62, с. 123-126].

Для нормализации условий труда проводится ряд мероприятий: отопление и вентиляция производственных помещений, механизация производственного процесса, теплоизоляция нагретых поверхностей, защита рабочих от источников излучения и т. д. В целях исключения вредного влияния микроклиматических факторов на организм человека и создания нормальных условий труда в рабочей зоне параметры воздушной среды должны соответствовать СанПин 2.2.4.548-96 [64, с.1-12].

Температура, влажность и скорость движения воздуха нормированы с учетом сезона года, категории выполняемых физических работ. В процессе обслуживания ректификационной колонны персонал работает стоя, большинство операций связано с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и

										Лист
										144
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

сопровождается умеренным физическим напряжением, поэтому работа относится к средней тяжести, категории 26 в соответствии с СанПин 2.2.4.548-96. Данные сведены в таблице 11.

Таблица 24. Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений.

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

В исследуемом помещении существуют система действующей вентиляции и водяного отопления, которые позволяют поддерживать необходимую температуру, соответствующую СанПин 2.2.4.548-96 [64, с.1-12].

Воздействие вредных и опасных веществ

Выполнение различных видов производственных работ может сопровождаться выделением в воздушную среду вредных веществ. Вредное вещество - это вещество, которое в случае нарушения требований безопасности может вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые как в процессе работы, так и в последующей жизни. При проведении различных технологических процессов в воздух выделяются твердые и жидкие частицы, а также пары и газы. Пары и газы

образуют с воздухом смеси, а твердые и жидкие частицы - аэродисперсные системы - аэрозоли. Существуют различные классификации вредных веществ, в основу которых положено их действие на человеческий организм. В соответствии с наиболее распространенной (по Е.Я. Юдину и С.В. Белову) классификацией, вредные вещества делятся на шесть групп: общетоксические, раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную (детородную) функцию человеческого организма [7, с. 123-126]. В таблице 12 представлены вредные вещества возможно встречающиеся в воздухе рабочей зоны томской производственной площадки "СИБУР Холдинг"

Таблица 25. Вредные вещества [65,с.10-17],[66, с.2].

Название вещества	Химическая формула	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние, в н.у.
Метан	CH ₄	300	4	газ
Этан	C ₂ H ₆		4	
Бутан	C ₄ H ₁₀		4	
Пропан	C ₃ H ₈		2	
Пропилен	C ₃ H ₆	100	4	

В целях обеспечения нормального функционирования производственной площадки необходимо предусмотреть ряд мер по контролю содержания опасных и вредных веществ в рабочей зоне в допустимых пределах ПДК, в соответствии с рекомендацией [62, с.133-134], заключается в снижении производственных выбросов; совершенствовании производственных фильтров; защита расстоянием (расположение факелов на большом удалении от производственной площадки, на большой высоте); использование индивидуальных средств защиты.

Вредное воздействие компьютера

Работа оператора по контролю рабочих параметров производственных процессов предусматривает работу за компьютером. Компьютер оказывает следующие вредные воздействия:

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						146

- Проблемы с мышцами. Длительное сидячее положение негативно сказывается на циркуляции крови в теле;
- Влияние сидячего положения на позвоночник;
- Проблемы со зрением. Негативное воздействие на глаза человека при длительной работе с компьютером отрицательно воздействуют на зрение.
- Проблемы психоэмоционального перенапряжения. Нарушение внимания и умственная усталость в процессе поиска информации на компьютере возникают гораздо быстрее, нежели при работе с другими источниками информации;
- Отрицательное воздействие компьютера на нервную систему;

В целях уменьшения пагубного влияния компьютера необходимо сокращение времени компьютерной работы, увеличение числа перерывов в соответствии с рекомендацией СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[67, с.1-32].

Электробезопасность

Электронасыщенность современного производства (электрические установки, приборы, агрегаты) формирует электрическую опасность. При работе с электрическими установками на производстве, приборами в быту следует соблюдать требования электробезопасности. Они представляют собой систему организационных и технических мероприятий и средств, которые обеспечивают защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока.

Действие электрического тока на организм человека носит многообразный характер. Проходя через организм человека, электрический ток вызывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое действие тока проявляется в ожогах тела, нагреве до высокой температуры внутренних органов человека (кровеносных сосудов, сердца, мозга). Электролитическое действие тока проявляется в разложении органических жидкостей тела (воды, крови) и нарушении их физико-химического состава. Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых

										Лист
										147
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

тканей организма и сопровождается произвольными судорожными сокращениями мышц (сердца, лёгких) [62, с. 155-159].

Для спасения пострадавшего необходимо как можно быстрее освободить его от действия электрического тока, а затем оказать ему первую медицинскую помощь. Согласно ПЭУ [68, с.1-10] исследуемое рабочее место относится к помещению без повышенной электроопасности, которое характеризуется отсутствием условий, создающих повышенную и или особую опасность.

Основные способы и средства электрозащиты:

1. изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
2. установка оградительных устройств;
3. предупредительная сигнализация и блокировки;
4. использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
5. использование малых напряжений;
6. электрическое разделение сетей;
7. защитное заземление;
8. выравнивание потенциалов;
9. зануление; защитное отключение;
10. средства индивидуальной электрозащиты [68, с.1-14].

Противопожарные мероприятия

В соответствии с "Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации" [69, с. 1-12], СНиП 2.04.09-84 "Пожарная автоматика зданий и сооружений" [70, с. 1-17], справочником руководителя тушения пожара (под ред. Иванникова); СНиП 2.04.01-85 "Внутренний водопровод и канализация" [71, с. 10-17], и СНиП 2.04.02-84 "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения" [72, с. 1-7] обеспечение пожарной безопасности и пожаротушения возлагается на руководителя предприятия.

										Лист
										148
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Оснащение производственных зданий и территории промплощадки первичными средствами пожаротушения и мероприятия по пожарной безопасности должны производиться в соответствии с "Приказ МЧС РФ от 18.06.2003 N 313 "Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03)" [73, с.1-94].

Местоположение первичных средств пожаротушения и пожарного инвентаря должно быть согласовано с органами пожарного надзора. Пожарные щиты с набором инвентаря (огнетушителями ОХП-10, ОУ-5 для тушения электрооборудования, ведра, лопаты, топор), и ящиками для песка $V=1,0$ м³ предусматриваются на выходе из помещений и здания цеха таким образом, чтобы не препятствовать вынужденной эвакуации людей.

7.2. 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. Решения по обеспечению экологической безопасности, охрана окружающей среды достигается комплексом мероприятий, направленных на предотвращение утечек нефти, нефтепродуктов и сокращение потерь от испарения. Комплекс проектных мероприятий, направленных на уменьшение воздействия объектов на окружающую среду должен включать:

1. принятие герметичных схем приема-откачки нефти, нефтепродуктов;
2. обеспечение сбора утечек нефти с оборудования в подземные дренажные емкости с дальнейшим возвратом в технологический процесс;
3. подъём на оптимальную высоту труб выбросов организованных источников для улучшения рассеивания;
4. закрытый дренаж трубопроводов и оборудования;
5. сбор проливов продуктов из отбортованных площадок в дренажные ёмкости с последующим возвратом на переработку;

										Лист
										149
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

3. события, связанные с человеческим фактором: неправильные действия персонала, неверные организационные или проектные решения, постороннее вмешательство (диверсии) и т.п.;

4. внешнее воздействие техногенного или природного характера: аварии на соседних объектах, ураганы, землетрясения, наводнения, пожары.

Превентивные меры по предотвращению ЧС включают в себя соблюдение техники безопасности, оснащение производственных зданий и территории промплощадки первичными средствами пожаротушения и мероприятия по пожарной безопасности в соответствии с [73]. Местоположение первичных средств пожаротушения и пожарного инвентаря должно быть согласовано с органами пожарного надзора.

Последовательность и механизмы действия при пожаре приведены в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами и инструкциями [57, 60, 62, 70-73]. При возникновении пожара необходимо отключить ректификационную колонну от сети, вентиляцию, убрать огнеопасные предметы в безопасное место, одновременно, по возможности, ликвидировать очаг. Средства тушения применять с учетом того, что является источником пожара. Для тушения горячей одежды использовать воду, для горящих электроустановок - углекислые огнетушители, для тушения воспламененных установок, закрепленных штативом - асбестовое одеяло.

7.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Все рабочие и служащие, поступающие на работу, подлежат предварительному медицинскому освидетельствованию. Все трудящиеся на рабочих местах, где возможно присутствие в воздухе рабочей зоны вредных газов и паров, а также возможен непосредственный контакт с опасными реагентами и продуктами производства, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты, спецодеждой и обувью в соответствии с нормами трудового законодательства:

										Лист
										151
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

В калькуляции себестоимости предусмотрена соответствующая статья затрат «Охрана труда». Допуск к работе с вредными и токсичными веществами без спецодежды и других защитных средств запрещается. Средства защиты перед началом работы должны быть проверены.

Аварийный запас СИЗ определяется планом ликвидации аварий. Контроль состояния воздушной среды рабочей зоны производственных помещений осуществляется в соответствии с ГОСТ 12.1.005-76 [74, с. 1-33].

						<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		152

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе расчета и проектирования ректификационной колонны разделения пропан пропиленовой фракции был произведен технологический и конструктивно-механический расчет колонны. В ходе технологического расчета был составлен материальный баланс колонны, рассчитано оптимальное флегмовое число (равное в условиях данного расчета 8,3). Графическим методом Мак-Кэба и Тиле найдено оптимальное значение числа теоретических тарелок равно 132. В результате сравнения рассчитанного оптимального числа теоретических тарелок с реально действующим аналогом проектируемой колонны за исполнительное число тарелок выбрано 134 тарелки.

Произведен расчет рабочей скорости паров в верхней и нижних частях колонны (0,84 м/с). Рассчитан диаметр колонны равный 3,2 м, полностью соответствующий размерам реально действующего на производстве аналога проектируемой колонны. В соответствии с рекомендациями [2, с. 214] в качестве исполнительного типа тарелки принимаем ситчатую тарелку типа ТС-Р2 по ОСТ 26-805-73[7]. Рассчитана высота проектируемой колонны равная 74 м.

В ходе конструктивно-механического расчета произведен выбор исполнительной марки стали ректификационной колонны. Из условия прочности и устойчивости определены значения толщины стенки цилиндрической обечайки, эллиптических днища и крышки. Произведен расчет штуцеров и фланцев. Из стандартизированных значений ГОСТ и ОСТ выбраны оптимально подходящие рассчитанным параметрам исполнительные типы штуцера, фланца и люк-лазов. В соответствии с ГОСТ 24755-81 произведен расчет укрепления отверстий. В соответствии с ГОСТ 51273-99 произведен расчет колонны на ветровую и сейсмическую нагрузку. Произведен расчет опорной обечайки, в соответствии с АТК 24.200.03-90 выбрана стандартизированная опора. Рассчитана исполнительная толщина слоя изоляции (равная 10 мм). Произведен экономический расчет проектируемой колонны, рассчитана точка безубыточности производства.

						<i>Лист</i>
						153
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Регламент производства мономеров - Томскнефтехим - 1997 - с. 986
2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. Часть 1. - М.:Химия, 1995 - С. 400.
3. Коган В.Б. Равновесия между жидкостью и паром/ В.М. Фридман, В.В. Кафаров. - Книга первая, справочное пособие. Часть 2 - Издательство "Наука", Москва, Ленинград, 1966 г. - 641 с.
4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов .- 1973 г. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
5. Динамическая вязкость газов и паров - [Электронный ресурс] - URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/gazy-raznye/dinamicheskaya-vyazkost-gazov-i-parov> (дата обращения: 02.05.2017).
6. Дж. Перри Справочник инженера-химика, т. 1. Перевод с англ. под ред. акад. Жаворонкова Н.М.: Издат: "Химия" 1969 - с. 640
7. ОСТ 26-805-73 Тарелки ситчатые колонных аппаратов. Типы и параметры. Конструкция и размеры.
8. Поверхностное натяжение, кН/м, сжиженных углеводородных газов. Этан, Пропилен, Пропан, н-Бутилен, Изобутилен, Изобутан, н-Бутан, н-Пентан [Электронный ресурс] - URL: <http://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/SurfaceTension/PovNatNatGas/> (дата обращения: 02.05.2017).
9. Новоселов А.Г. Справочник по молекулярной диффузии в системах газ–жидкость и жидкость–жидкость / Тишин В.Б., Дужий А.Б. [Электронный ресурс] - URL: http://chemanalytica.com/book/novyuy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/10_protsessy_i_apparaty_khimicheskikh_tekhnologiy_chast_II/7220 (дата обращения: 02.05.2017).

									Лист
									154
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

23. ГОСТ 24306-80 Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования.
24. ГОСТ 6533-68 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов.
25. ОСТ 26-2013-83 Устройства подъемно-поворотные для крышек люков стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция и размеры.
26. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования
27. ГОСТ 12820-80 Фланцы стальные плоские приварные на 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см).
28. ОСТ 26-2000-83 Люки стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы и пределы применения.
29. ГОСТ 24755-81 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.
30. Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств / Ленинград "Машиностроение". - Ленинград : Изд-во: Ленинградское отделение, 1984. - 302 с.
31. ГОСТ 24755-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.
32. ГОСТ 52857.4-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
33. СТО 0041-2004 Конструкции стальные строительные. Болтовые соединения. Проектирование и расчет.
34. ГОСТ 22353-77 Болты высокопрочные класса точности В. Конструкция и размеры.
35. ГОСТ 22356-77 Болты и гайки высокопрочные и шайбы. Общие технические условия.
36. ОСТ 26-373-78 Нормы и методы расчета на прочность фланцевых соединений сосудов и аппаратов.
37. ГОСТ 481-80 Паронит и прокладки из него. Технические условия.

						<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		156

67. Строительные нормы и правила: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. - Москва: [б.и.], 2003. - 32 с.
68. Правила устройства электроустановок: ПУЭ от 01.01.2003. Общие правила.- Москва: [б.и.], 2003. - 14 с.
69. Приказ Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Правила пожарной безопасности в РФ от 18 июня 2003 г. № 313 - Москва: [б.и.], 2003. - 138 с.
70. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.09-84 Пожарная автоматика зданий и сооружений.- Москва: [б.и.], 1998. - 24 с.
71. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.01-85 Внутренний водопровод и канализация.- Москва: [б.и.], 1996. - 63 с.
72. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.- Москва: [б.и.], 1996. - 177 с.
73. Приказ МЧС РФ от 18.06.2003 N 313. Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03). - 94 с.
74. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
75. ГОСТ Р 7.0.5.-2008 Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

						<i>Лист</i>
						160
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

ПРИЛОЖЕНИЕ

Рисунок 14. Построение теоретических тарелок при $R=5,3$

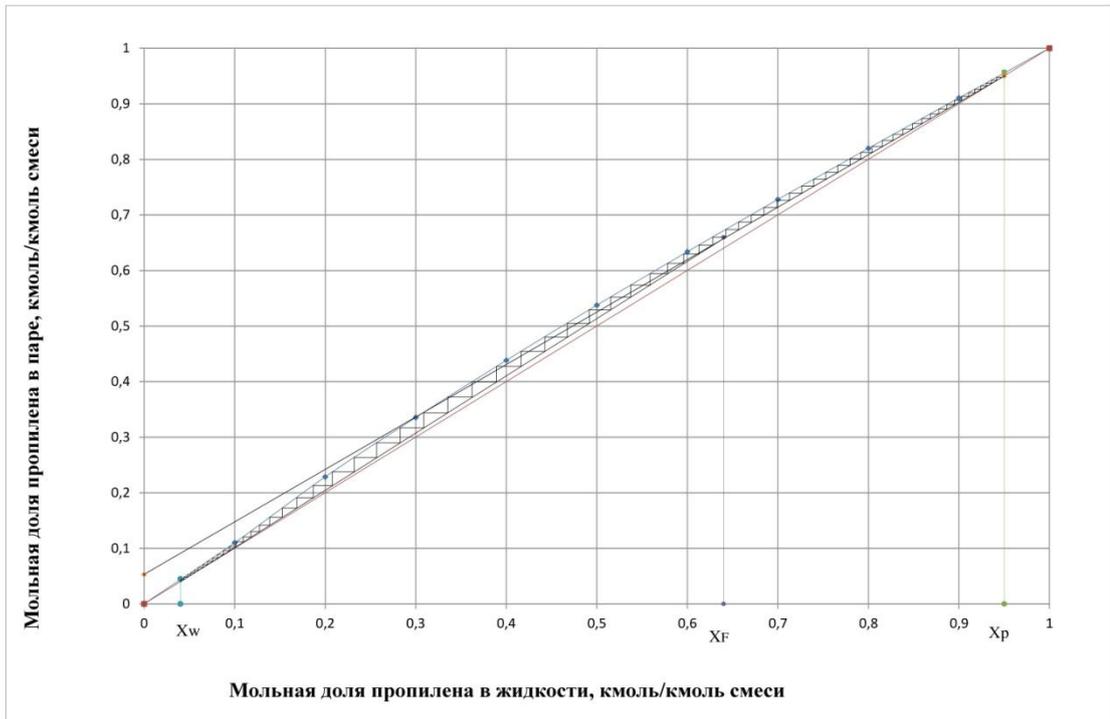


Рисунок 15. Построение теоретических тарелок при $R=6,5$

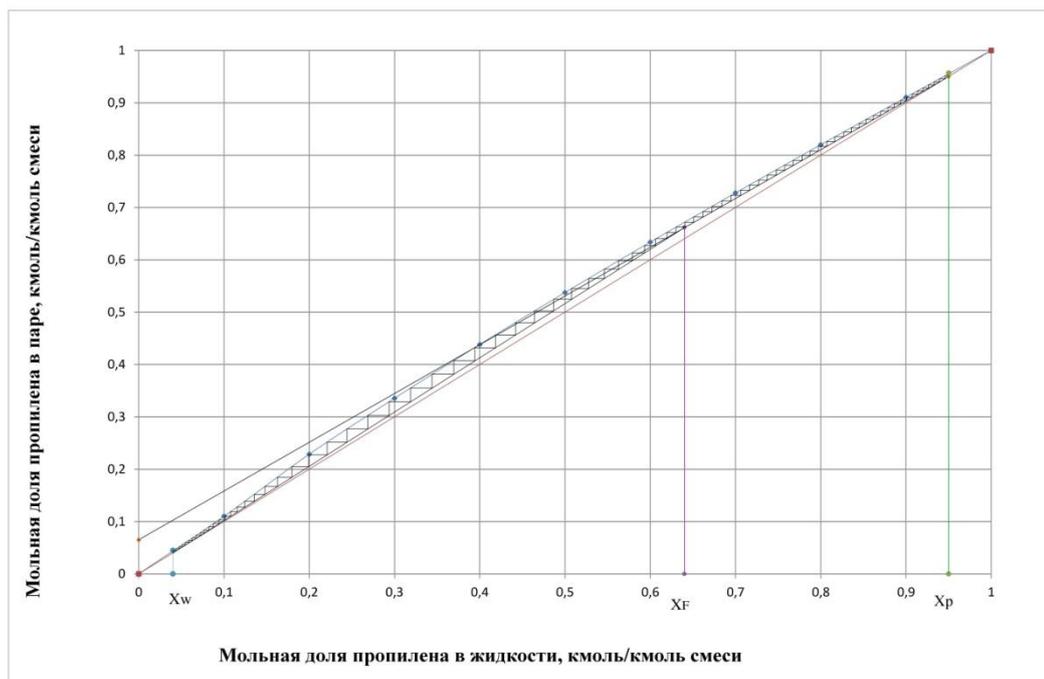


Рисунок 16. Построение теоретических тарелок при $R=7$

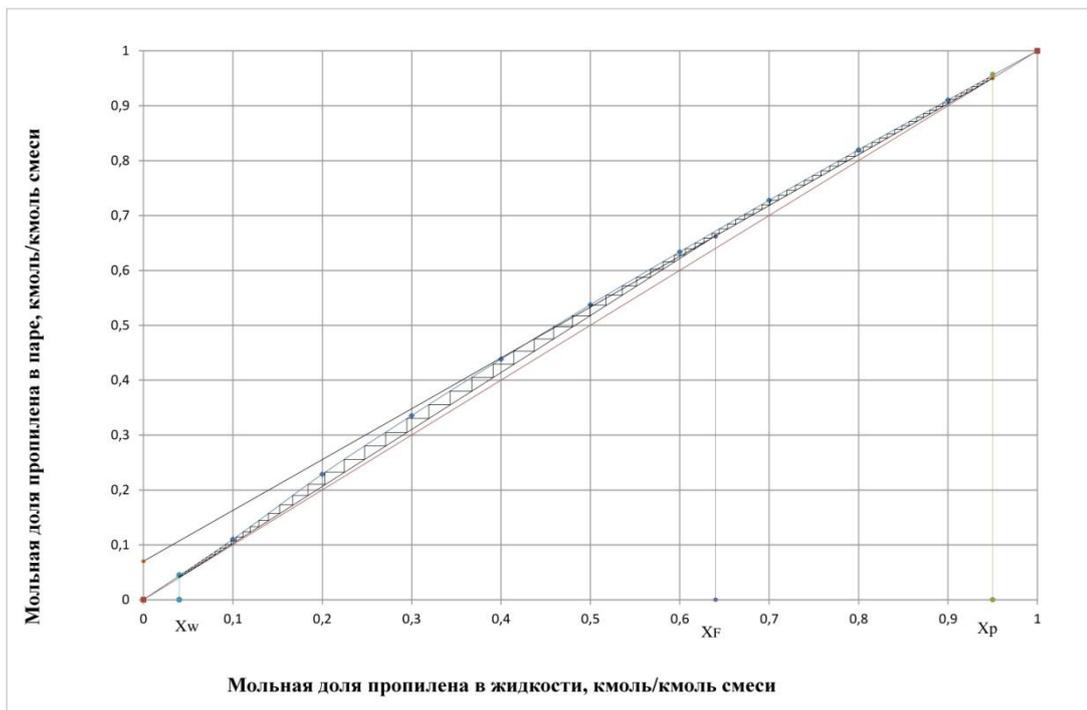
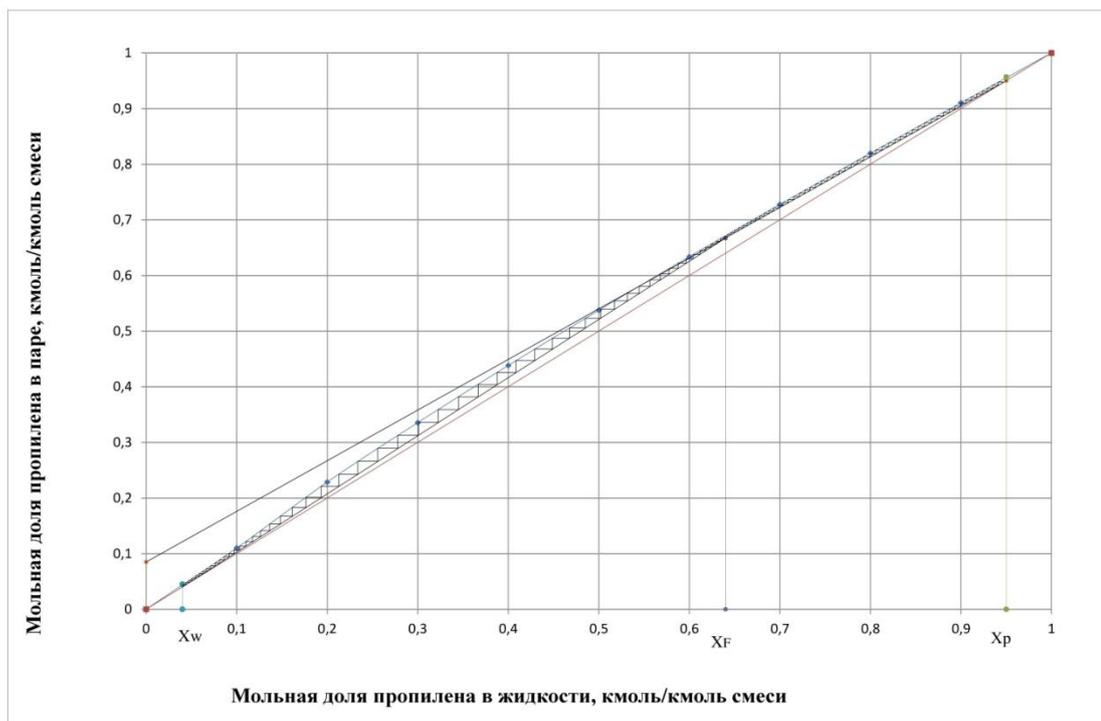


Рисунок 17. Построение теоретических тарелок при $R=8,5$



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Рисунок 18. Построение теоретических тарелок при $R=9$

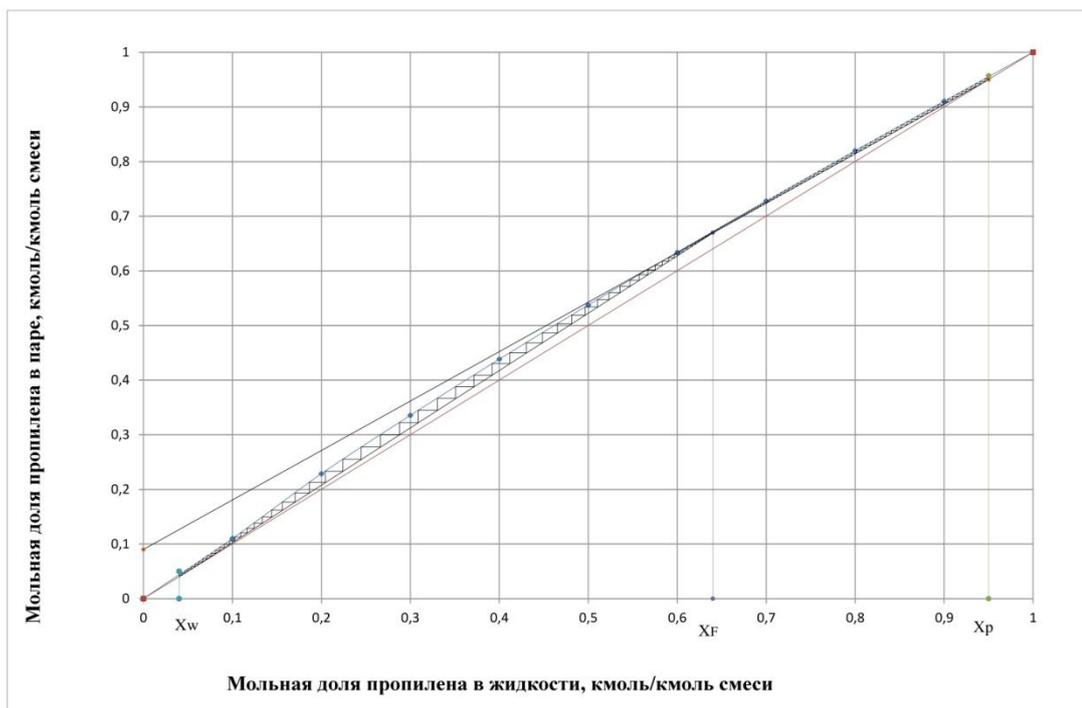
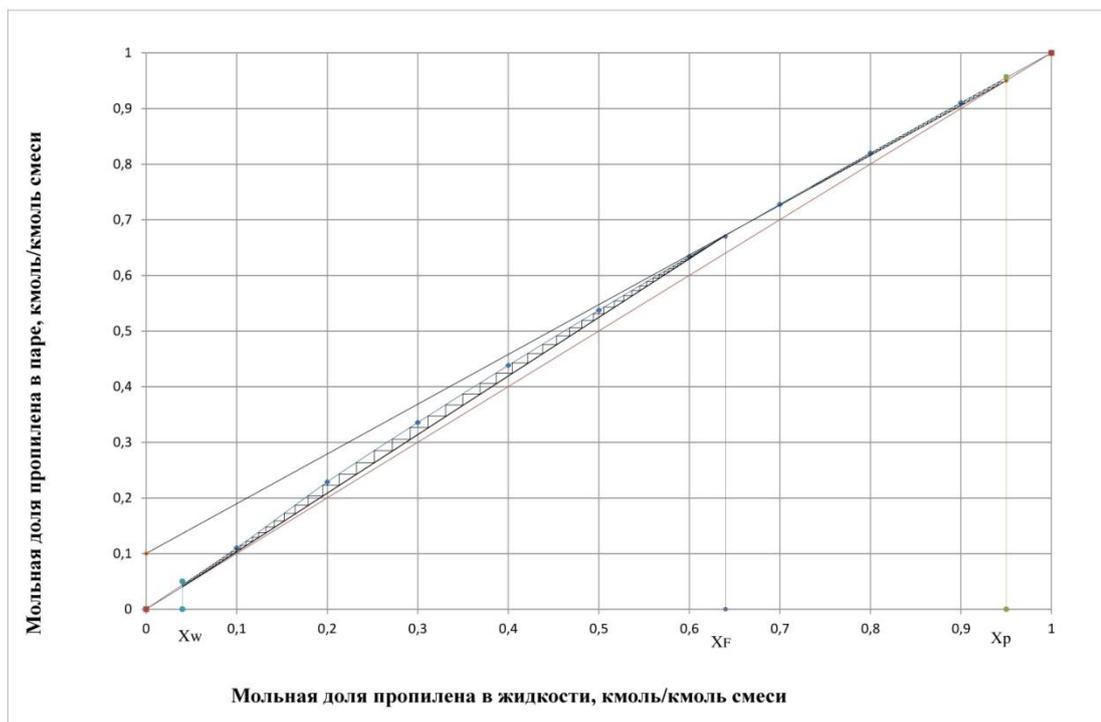


Рисунок 19. Построение теоретических тарелок при $R=10$



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Рисунок 20. Построение теоретических тарелок при $R=11,2$

