

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
Разработка основного оборудования установки переработки нефти НПЗ «Анжерский»

УДК 665.6.05(571.17)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2к22	Чернов Александр Владимирович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

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



Институт природных ресурсов

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

Кафедра «общей химии и химической технологии»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К22	Чернову Александру Владимировичу

Тема работы:

Разработка основного оборудования установки переработки нефти НПЗ «Анжерский»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22.03.2016, 1631/С

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Провести технологический и механический расчет ректификационной колонны. Расход обессоленной и обезвоженной нефти на установке – 28500 кг/ч. Тип колонны – тарельчатая; тарелка – клапанная однопоточная. Режим работы – непрерывный.
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Технологический расчет: - описание технологической схемы; - материальный и тепловой баланс колонны; - определение основных размеров аппарата.</p> <p>2. Конструктивно-механический расчет колонны: - определение расчетных параметров; - определение толщины стенки обечайки, днища; - расчет фланцевых соединений; - укрепление отверстий; - расчет на прочность и устойчивость.</p> <p>3. Социальная ответственность: - анализ опасных факторов проектируемой производственной среды; - охрана окружающей среды; - защита в чрезвычайной ситуации.</p> <p>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: - анализ производственной мощности; - расчет себестоимости продукции; - анализ безубыточности производства; - определение технико-экономических показателей.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема (A1). Лист 2,3,4 – Колонна ректификационная. Чертеж общего вида (A1). Лист 5 – Техничко-экономические показатели (A2).</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Сечина Ася Александровна</p>
<p>Безопасность жизнедеятельности и охрана окружающей среды</p>	<p>Ахмеджанов Рафик Равильевич</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>29.02.16г.</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2к22	Чернов Александр Владимирович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 124 страницы, 14 рисунков, 30 таблиц, 23 источника, 1 приложение, 5 листов графического материала формата А1.

РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА, НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА, НЕФТЬ, РЕКТИФИКАЦИЯ, МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, ПРОЧНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, ГЕРМЕТИЧНОСТЬ, КЛАПАННАЯ ТАРЕЛКА.

Объектом исследования является установка переработки нефти на НПЗ «Анжерский» мощностью 250 тыс.тонн/год.

Цель работы – разработка энерго-ресурсоэффективных вариантов основного оборудования переработки нефти НПЗ «Анжерский» с целью оптимизации производствен-ного процесса и снижения затрат.

Оглавление

Реферат	4
Введение	7
Глава 1. Технологический расчет колонны	9
1.1 Описание технологической схемы.....	9
1.2 Физико – химические свойства сырья	11
1.3 Минимальное число теоретических тарелок	15
1.4 Состав дистиллята и остатка	19
1.5 Температурный режим колонны	21
1.6 Минимальное флегмовое число	25
1.7 Оптимальное флегмовое число. Число теоретических тарелок.....	27
1.8 Место ввода сырья. Рабочее число тарелок	29
1.9 Внутренние материальные потоки.....	31
1.10 Материальный баланс колонны	33
1.11 Тепловой баланс колонны	34
1.12 Определение диаметра колонны	37
1.13 Определение высоты колонны	40
1.14 Подбор штуцеров.....	42
1.15 Теплоизоляция	43
Глава 2. Механический расчет	45
2.1 Определение расчетных параметров	46
2.2. Определение толщины стенки обечайки.....	47
2.3 Сопряжение обечайки и днища	49
2.4 Укрепление отверстий в обечайке и днищах.....	53
2.5 Расчет фланцевых соединений	58
2.6 Механический расчет тарелки.....	72
2.7 Определение расчетных усилий от ветровых нагрузок	75
2.8 Расчет на прочность и устойчивость	87
2.9 Расчет элементов опорного узла	95
Глава 3. Социальная ответственность	99
3.1 Характеристика токсичных свойств сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства.....	100
3.2 Пожаро-, взрывоопасные свойства веществ применяемых в производстве.....	102
3.3 Рекомендации по применению взрывоподавляющих веществ	102

3.4	Возможные источники выделения вредных веществ	103
3.5	Мероприятия по предотвращению выбросов	104
3.6	Источники шума и вибрации.....	105
3.7	Возможность накопления зарядов статического электричества, их опасность ...	106
3.8	Рекомендации по обезвреживанию и нейтрализации продуктов производства при разливах и авариях	108
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		109
4.1	Анализ эффективности производства	110
4.1.1	Расчет производственной мощности предприятия.....	110
4.2	Расчет себестоимости готовой продукции.....	112
4.3	Анализ безубыточности производства	118
4.4	Определение технико-экономических показателей	119
Заключение		121
Список использованных источников		122
Приложение А. Спецификация		124

Введение

Сегодня на российском рынке проявлен значительный интерес к созданию и развитию малотоннажных нефтеперерабатывающих предприятий. По данным Минпромэнерго РФ, в ближайшие пять лет суммарная мощность мини-НПЗ может удвоиться.

В отличие от многих крупных государств, имеющих или развивающих нефтепереработку и создающих крупные нефтехимические комплексы, в России стремительно увеличивается количество мини-НПЗ. До недавнего времени их строили в основном в нефтедобывающей отрасли для обеспечения топливом городов и поселков, находящихся вблизи месторождений. Сейчас же практически у всех крупных нефтяных компаний, таких как ЛУКОЙЛ, Роснефть, ТНК ВР и других, есть мини-НПЗ. Их возводят в тех местах, откуда невыгодно транспортировать сырую нефть, или в местах нестабильного обеспечения топливом.

Поскольку сегодняшняя политика государства предусматривает выделение новых месторождений компаниям, имеющим собственную переработку, то естественно, что интерес к мини-НПЗ и установкам нефтехимии малой мощности усилился. Рост популярности этого бизнеса обусловлен двумя основными факторами. Во-первых, заинтересованность региональных властей. Снижается зависимость от поставок нефтепродуктов крупными нефтяными компаниями, а для владельцев мини-НПЗ, кроме гарантированного сбыта продукции на местном рынке, в том числе и для государственных нужд (сельское хозяйство, армия), значительно упрощается процедура оформления земли под предприятие и получение необходимой разрешительной документации. Во-вторых, преимущество экспорта нефтепродуктов перед экспортом сырой нефти из-за существенной разницы в пошлине. Перерабатывая нефть на мини-НПЗ

даже по самой примитивной схеме, можно иметь существенную экономию на уплате пошлин.

Проблема увеличения мощности НПЗ очень актуальна, особенно в настоящее время. В течение последних лет Кемеровская область потребляет около 3,5 млн тонн нефтепродуктов в год, что примерно на 30% больше, чем в соседних областях. К тому же ежегодно спрос стабильно увеличивается на 5–6%. Во многом это связано с развитой в Кузбассе горнодобывающей промышленностью, которая «забирает» более 60% общеобластного объема дизельного топлива.

До сих пор большую часть нефтепродуктов приходилось завозить по железной дороге с заводов, расположенных в Омске, Ачинске, Ангарске, Уфе. Для этого ежегодно использовались примерно 30 тыс. железнодорожных цистерн и 7 тыс. бензовозов. Транспортную составляющую в цене ГСМ в Кемеровской области эксперты оценивали в 15%. Увеличение мощности НПЗ позволит снизить себестоимость продукта и, соответственно, цену топлива на рынке.

Для достижения этой цели необходимо изучить технологическую схему установки переработки нефти, провести технологический и конструктивно-механический расчет ректификационной колонны, оценить экономическую целесообразность проекта.

Глава 1. Технологический расчет колонны

1.1 Описание технологической схемы

Сырье из парка подаётся насосом Н8 последовательно в теплообменники Т1, Т2, нагреваясь теплом дизельной фракции и мазута. Одновременно на прием насоса Н8 дозировочным насосом подается в чистом виде деэмульгатор Dissolvan 3359.

Подогретое сырье поступает в электродегидратор. Одновременно перед входом в ЭД на смешение с потоком нефти подается промывная вода. В дегидраторе под действием повышенной температуры, электрического поля и деэмульгатора происходит разрушение водонефтяной эмульсии.

Отстоявшийся солесодержащие стоки из нижней части ЭД после охлаждения в холодильнике Х4/1 сбрасываются в сеть химзагрязненных стоков.

Обессоленная и обезвоженная нефть дополнительно, проходя двумя параллельными потоками теплообменники Т3/1, Т3/2, а затем теплообменник Т5, где нагревается за счет тепла отходящих потоков колонны К2 (мазут, дизельная фракция и ПЦО) и конвективный змеевик печи П1 поступает в питательную секцию отбензинивающей колонны К1.

Пары с верха колонны К1 поступают на конденсацию и охлаждение в воздушных конденсаторах-холодильниках КХ1, КХ1/1 и в холодильнике Х9. Охлажденный продукт направляется в сепаратор С1, где происходит его разделение на углеводородную фракцию, углеводородные газы и воду.

Углеводородные газы выводятся из сепаратора С1 и направляются на сжигание в печь П1.

Вода из нижней части сепаратора С1, предварительно смешавшись с водой из С2 и охладившись в холодильнике Х4/2, отправляется в канализацию.

Легкая бензиновая фракция из сепаратора С1, перекачивается насосом Н2 и делится на два потока: первый – орошение колонны К1, второй – отправляется на смешение с тяжелой бензиновой фракцией.

Для защиты от коррозии, в шлемовый трубопровод колонны К1 в расчетном количестве подается нейтрализатор Dodicor 1830 и ингибитор коррозии Dodigen 481.

Кубовый остаток колонны К1 – отбензиненная нефть насосом Н1 подается через теплообменник Т7, где нагревается потоком мазута с низа К2, в змеевика печи П1 для дальнейшего нагрева.

Отбензиненная нефть после П1 поступает в питательную секцию колонны К2.

Для улучшения отгона легких фракций от мазута в куб колонны К2 подается перегретый водной пар, полученный в пароперегревателе печи П1.

Печь П1, трехпоточная. Основные горелки комбинированные, возможна работа как на жидком топливе, так и на газообразном топливе, а также на их смеси. Основным вариантом – сжигание газов из сепаратора С1. Пилотные горелки работают на газе, предусмотрено использование углеводородных газов из баллонов и/или углеводородных газов сепаратора С1.

Пары с верха колонны К2 поступают на конденсацию и охлаждение в воздушный конденсатор-холодильник КХ2, затем в холодильный X10. Охлажденный продукт направляется в сепаратор С2, где происходит его разделение на углеводородную фракцию, углеводородные газы и воду.

Углеводородные газы (если таковые имеются) выводятся из сепаратора С2 и направляются на сжигание в печь П1.

Вода (конденсат водяного пара) из нижней части сепаратора С2, предварительно смешавшись с водой из С1 и охладившись в холодильнике

X4/2, отправляется в канализацию. Подтоварная вода из С2 может использоваться в качестве промывной воды для подачи в нефть перед ЭД.

Тяжелая бензиновая фракция из сепаратора С2, перекачивается насосом Н4 и делится на два потока: первый – орошение колонны К2, второй – отправляется на смешение с легкой бензиновой фракцией, предварительно доохладившись в холодильнике Х2. После смешения легкой и тяжелой бензиновых фракций получается бензиновая фракция, которая охлаждается в концевом водяном Х8. Далее бензиновая фракция отправляется в парк.

Дизельная фракция из колонны К2 (отбирается с 15 тарелки) и поступает в теплообменник Т5, нагревая своим теплом поток сырья. Далее дизельная фракция забирается насосом Н6 и одна часть ее прокачивается через теплообменник Т1, нагревая сырье, затем охлаждается в холодильнике Х1 и направляется в парк. Другая часть потока дизельной фракции представляет собой ПЦО колонны К2 и возвращается в колонну на 12 тарелку.

Мазут из куба колонны К2, поступает в теплообменник Т7, нагревая своим теплом поток сырья. Далее мазут насосом Н3, прокачивается через теплообменники Т3/2, Т3/1 и Т2, где отдает тепло сырью, и подается на склад.

Для защиты от коррозии, в шлемовый трубопровод колонны К2 в расчетном количестве дозирочными насосами подается нейтрализатор Dodicor 1830 и ингибитор коррозии Dodigen 481 [1].

1.2 Физико – химические свойства сырья

Нефть и её фракции являются сложной многокомпонентной смесью. Смеси углеводородов гомологического ряда подчиняются законам идеальных растворов, но если в ней присутствуют углеводороды других

классов, то её свойства отклоняются от свойств идеальных растворов, которые подчиняются законам Дальтона и Рауля. Эти явления из-за своей сложности являются малоизученными, из-за чего процессы перегонки и ректификации смесей рассчитывают, с использованием законы идеальных растворов. В инженерных расчетах точность такого способа допустима.

Следующее допущение, которое принимается в расчетах, связано с тем, что в самой нефти и в её фракциях имеется избыточно большое количество компонентов. При расчете процесса перегонки и ректификации наличие очень большого количества компонентов в смеси может привести к достаточно громоздкому вычислению. В связи с этим в технологическом расчете свойства и состав нефти и её фракций представляются упрощенно. Чтобы это сделать исходную нефть по кривой ИТК делят на фракции, которые выкипают при небольшой разнице температур. Каждая отдельная узкая фракция рассматривается как условный компонент, имеющий температуру кипения, равную средней температуре кипения этой фракции. Чем большее число узких фракций на которые разделена нефть, тем точнее и лучше будут результаты этих вычислений, но расчет может стать большим и трудоёмким. Для получения положительных результатов нефть разбивают на шесть и более узких фракций по рекомендации А.А.Кондратьева [2].

Разобьём всю нефть на девять фракций: 28-58°C, 58-72°C, 72-85°C, 85-102°C, 102-140°C, 140-180°C, 180-240°C, 240-350°C и 350-К.К. Первые три фракции с температурами 28-58°C, 58-72°C и 72-85°C отберем в качестве дистиллята, а остальные шесть - в качестве остатка.

Таблица 1.1
Разгонка (ИТК) нефти

№ фракции	Температуры кипения фракций при 1 ат, °С	Выход на нефть, % масс.		ρ_4^{20}	Молекулярный вес (M_i) фракций
		отдельных фракций	суммарный		
1	28 – 58	2,09	2,09	0,6511	75
2	58 – 72	2,13	4,22	0,6754	—
3	72 – 88	2,45	6,67	0,6926	—
4	88 – 102	2,28	8,95	0,7048	—
5	102 – 115	2,38	11,33	0,7168	108
6	115 – 128	2,38	13,71	0,7286	—
7	128 – 138	2,41	16,12	0,7373	—
8	138 – 150	2,48	18,60	0,7498	—
9	150 – 162	2,58	21,18	0,7658	134

Среднюю температуру кипения компонента t_{cp} определяем как среднее арифметическое между начальной и конечной температурой кипения фракции.

Молекулярная масса M_i каждого компонента определяется по формуле Воинова [2, стр.26]:

$$M_i = 52,63 + 0,246T_{cp} + 0,001T_{cp}^2 \quad (1.1)$$

где T_{cp} – средняя температура закипания фракции, К.

Относительная плотность компонента ρ_{15}^{15} определяется через молекулярную массу по формуле Крэга [2, стр.26]:

$$\rho_{15}^{15} = \frac{1,03M_i}{44,29 + M_i} \quad (1.2)$$

или через относительную плотность ρ_4^{20} :

$$\rho_{15}^{15} = \rho_4^{20} + 5\alpha \quad (1.3)$$

где α – средняя температурная поправка относительной плотности на 1К, определяемая с помощью эмпирической формуле Кусакова:

$$\alpha = 0,001838 - 0,00132\rho_4^{20} \quad (1.4)$$

Относительную плотность компонента ρ_4^{20} определяется уравнением аддитивности:

$$\frac{1}{\rho_4^{20}} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\rho_{4i}^{20}} \quad (1.5)$$

где x_i и ρ_{4i}^{20} – массовая доля и плотность i -ой узкой фракции

Пересчет массовых долей в мольные проведем, используя формулу [2, стр 31]:

$$X_i' = \frac{X_i / M_i}{\sum_{i=1}^n (X_i / M_i)} \quad (1.6)$$

Результаты всех расчетов физико-химических свойств сырья отбензинивающей колонны представлены в табл.2.

Таблица 1.2
Физико-химические свойства сырья

№ компонента	Пределы выкипания фракции	% масс.	t_{cp} , С	M_i	% мольн.	ρ_{15}^{15}
1	28-58	2,09	43,0	65,058	5,62428	0,667815
2	58-72	2,13	65,0	72,846	5,12051	0,687683
3	72-85	1,99	78,5	78,104	4,45739	0,702086
4	85-102	2,77	93,5	84,374	5,74713	0,713808
5	102-140	7,77	121,0	97,038	14,03948	0,736062
6	140-180	8,73	160,0	117,591	13,00546	0,777089
7	180-240	13,64	210,0	148,391	16,11138	0,823779
8	240-350	23,55	295,0	212,226	19,44218	0,869475

№ компонента	Пределы выкипания фракции	% масс.	t_{cp}, C	M_i	% мольн.	ρ_{15}^{15}
9	350-К.К.	37,33	-	397,501	16,45225	0,915581
Итого	-	100	-	-	100	-

1.3 Минимальное число теоретических тарелок

Расчет проведем способом температурной границы деления смеси.

Определим мольный отбор дистиллята E' относительно сырья [2, стр.44]:

$$E' = \frac{D'}{F'} \quad (1.7)$$

где F' и D' – мольный расход сырья в колонне и дистиллята в колонне, соответственно, кмоль/ч.

Для нашей работы примем E' как сумму мольных долей первой, второй и третьей фракций, которые пойдут в дистиллят:

$$E' = 0,15202 \quad (1.8)$$

Определим наиболее тяжелую фракцию, направляемую в дистиллят – это фракция с температурой 72-85°C. Зададимся степенью извлечения фракции в дистиллят $\varphi_{D3} = 0,85$. Из этого следует, что 85% фракции от всей нефти пойдёт в дистиллят. Чем больше степень извлечения фракции, тем больше будет требоваться в колонне теоретических тарелок .

Степень извлечения этой фракции в остаток φ_{W3} :

$$\varphi_{W3} = 1 - \varphi_{D3} = 0,15 \quad (1.9)$$

Содержание фракции в остатке и в дистилляте будем рассчитывать по формулам:

$$X'_{Di} = \frac{\varphi_{Di} \cdot X'_{Fi}}{E'} \quad (1.10)$$

$$X'_{Wi} = \frac{\varphi_{Wi} \cdot X'_{Fi}}{1 - E'} = \frac{(1 - \varphi_{Di}) \cdot X'_{Fi}}{1 - E'}$$

$$X'_{D3} = 0,85 \cdot 4,45739 / 0,15202 = 0,24924$$

$$X'_{W3} = 0,15 \cdot 4,45739 / (1 - 0,15202) = 0,00789$$

Рассчитаем коэффициент распределения ψ_i этой фракции:

$$\Psi_3 = \frac{X'_{D3}}{X'_{W3}} = 31,60878$$

Среднее давление в ректификационной колонне примем $P_{cp} = 4,5 \text{ ат} = 0,45 \text{ МПа}$.

Определим температурную границу деления смеси. Температурной границей называется значение температуры T_E , находящейся между значениями температуры кипения в рабочих условиях 2ух фракций, которые лежат в разных сторонах воображаемой линии, делящей нефти. Такие фракции имеют название ключевые. В первом приближении T_E найдем как среднее арифметическое между температурами кипения ключевых фракций [3].

В нашем случае ключевые фракции это третья и четвёртая: $72-85^\circ\text{C}$ и $85-102^\circ\text{C}$. Найдем температуры кипения фракций - T_3 и T_4 при среднем давлении в ректификационной колонне P_{cp} . В расчётах будем использовать уравнение Ашворта.

Определим функцию $f(T_0)$ фракций по формуле [2, стр.45]:

$$f(T_0) = \frac{1250}{\sqrt{T_0^2 + 108000} - 307,6} - 1 \quad (1.11)$$

где T_0 – это средняя температура кипения фракции, находящейся при атмосферном давлении (табл.2), К

Например, расчет для первой фракции с температурой 28-58°C:

$$f(T_0)_1 = \frac{1250}{\sqrt{(43 + 273)^2 + 108000}} - 1 = 7,4281631$$

Результаты расчетов всех фракций показаны в табл. 3.

Таблица 1.3 Значения параметра $f(T_0)$ фракций

Параметр	Значение параметра
$f(T_0)_1$	7,4281631
$f(T_0)_2$	6,6299712
$f(T_0)_3$	6,2005122
$f(T_0)_4$	5,7691103
$f(T_0)_5$	5,0837525
$f(T_0)_6$	4,2968572
$f(T_0)_7$	3,5191703
$f(T_0)_8$	2,5855714
$f(T_0)_9$	1,5689270

Вычислим параметр $f(T)$ для всех ключевых фракций с помощью формулы:

$$f(T) = f(T_0) \left(1 - \frac{\lg P_{\text{ср.}}}{2,68}\right) \quad (1.12)$$

где $P_{\text{ср}}$ – это среднее давление в колонне, ат

$$f(T)_3 = 6,2005121 \cdot \left(1 - \frac{\lg 4,5}{2,68}\right) = 4,68922$$

$$f(T)_4 = 5,7691102 \cdot \left(1 - \frac{\lg 4,5}{2,68}\right) = 4,36297$$

Температура кипения фракции при нашем давлении:

$$T = \sqrt{\left(\frac{1250}{f(T) + 1} + 307,6\right)^2 - 108000}, \text{ К} \quad (1.13)$$

Получим $T_3 = 412,38 \text{ К}$, $T_4 = 429,34 \text{ К}$.

Настоящую величину T_E , которая будет находиться между температурами T_3 и T_4 , определяем способом подбора значения, удовлетворяющего условиям:

$$\sum_{i=1}^n X'_{Di} = 1 \quad \sum_{i=1}^n X'_{Wi} = 1 \quad (1.14)$$

$$T_E = 428,216 \text{ K}$$

$$f(T_E) = 4,38361$$

Рассчитаем коэффициенты относительной летучести α_i каждой фракции при температуре T_E :

$$\alpha_i = \frac{P_i}{P_{cp}}; \quad (1.15)$$

где P_i – это давление насыщенных паров фракции определим при температуре T_E по уравнению Ашворта [2, стр.56]:

$$\lg P_i = 2,68 \cdot \left(1 - \frac{f(T_E)}{f(T_0)}\right); \quad (1.16)$$

Приведем пример для первой фракции:

$$\alpha_1 = \frac{10^{2,68 \left(1 - \frac{4,38364}{7,428163}\right)}}{4,5} = 2,78758 \quad (1.17)$$

Результаты расчетов показаны в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Коэффициенты относительной летучести фракций при температуре T_E

Обозначение параметра	Значение параметра
α_1	2,78758
α_2	1,79815
α_3	1,35549
α_4	0,97818
α_5	0,51987
α_6	0,19617

Обозначение параметра	Значение параметра
α_7	0,04883
α_8	0,00306
α_9	0,00000347

Определим минимальное количество теоретических тарелок в колонне:

$$N_{\min} = \frac{\lg \Psi_3}{\lg \alpha_3} = \lg(31,60878) / \lg(1,35547) = 11,35434$$

1.4 Состав дистиллята и остатка

Найдем коэффициенты распределения каждой фракции Ψ_i :

$$\Psi_i = \alpha_i^{N_{\min}} \quad (1.18)$$

Приведем пример для первой фракции:

$$\Psi_1 = \alpha_1^{N_{\min}} = 2,78758^{11,35433} = 113568,3604$$

Рассчитаем состав остатка и дистиллята по следующим формулам:

$$X'_{Di} = \frac{X'_{Fi} \cdot \Psi_i}{1 + E'(\Psi_i - 1)} \quad (1.19)$$

$$X'_{wi} = \frac{X'_{Fi}}{1 + E'(\Psi_i - 1)} \quad (1.20)$$

Приведем пример для первой фракции:

$$X'_{D1} = \frac{0,0562427 \cdot 113568,3604}{1 + 0,15202 \cdot (113568,3604 - 1)} = 0,36995$$

$$X'_{w1} = \frac{0,0562427}{1 + 0,15202 \cdot (113568,3604 - 1)} = 3,257 \cdot 10^{-6} \approx 0$$

При правильном подборе T_E будут выполняться условия:

$$\sum_{i=1}^n X'_{Di} = 1$$

$$\sum_{i=1}^n X'_{Wi} = 1$$

Результаты расчетов состава остатка и дистиллята показаны в табл.1.5

Таблица 1.5

Состав дистиллята и остатка

№	Пределы выкипания фракции	P_i , ат	α_i	Ψ_i	X'_{Di}	X'_{Wi}
1	28-58	12,54412	2,78759	113568,3604	0,36996	$3,257 \cdot 10^{-6}$
2	58-72	8,09159	1,79813	782,20604	0,33445	0,00044
3	72-85	6,09964	1,35548	31,60879	0,24924	0,00789
4	85-102	4,40173	0,97817	0,77824	0,04628	0,05949
5	102-140	2,33934	0,51986	0,00058	0,00011	0,16556
6	140-180	0,88286	0,19618	0	0	0,15338
7	180-240	0,21964	0,04882	0	0	0,19001
8	240-350	0,01368	0,00305	0	0	0,22929
9	350-к.к.	$1,556 \cdot 10^{-5}$	$3,45 \cdot 10^{-6}$	0	0	0,19403
Σ	-	-	-	-	1,00000	1,00000

Среднюю молекулярную массу дистиллята найдем по формуле:

$$M_d = \sum_1^n (M_i \cdot X'_{Di}) = 71,82 \quad (1.21)$$

Относительную плотность дистиллята найдем по формуле:

$$\rho_{15d}^{15} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{X_{Di}}{\rho_i}} = 0,6862 \quad (1.22)$$

Среднюю молекулярную массу остатка найдем по формуле:

$$M_w = \sum_1^n (M_i \cdot X'_{wi}) = 193,75 \quad (1.23)$$

Относительную плотность остатка найдем по формуле:

$$\rho_{15w}^{15} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{X_{wi}}{\rho_i}} = 0,8521 \quad (1.24)$$

1.5 Температурный режим колонны

Температура верха $T_{\text{верха}}$ колонны должна быть рассчитана как температура конденсации насыщенных паров дистиллята у выхода из колонны.

Таблица 1.6

Расчет температуры верха колонны

P_i	k_i	$\sum \frac{X'_{Di}}{k_i}$
6,67564	1,66892	0,22168
3,99123	0,99781	0,33519
2,86496	0,71625	0,34798
1,95388	0,48848	0,09477
0,93071	0,23269	0,00043
0,29668	0,07418	0
0,05801	0,01451	0
0,00224	0,00057	0
Итого	-	1,00000

Расчёт проведем ,подобрав такую температуру, при которой уравнение изотермы паровой фазы превратится в тождество:

$$\sum \frac{X'_{Di}}{k_i} = 1 \quad (1.25)$$

$$\text{где } k_i = \frac{P_i}{P_{\text{верха}}}$$

P_i – это давление насыщенных паров при температуре верха $T_{\text{верха}}$, по уравнению Ашворта,

$P_{\text{верха}}$ – это давление на верху колонны, которое мы принимаем равным 4 атмосферы.

Необходимая температура $T_{\text{верха}} = 391,43 \text{ К} = 118,43^\circ\text{C}$.

Температуру низа $T_{\text{низа}}$ колонны рассчитаем как температуру кипения остатка. Расчёт проведем, подобрав такую температуру, при которой уравнение изотермы паровой фазы превратится в тождество:

$$\sum X'_{wi} \cdot k_i = 1 \quad (1.26)$$

$$\text{где } k_i = \frac{P_i}{P_{\text{низа}}},$$

P_i – это давление насыщенных паров при температуре низа $T_{\text{низа}}$,

$P_{\text{низа}}$ – это давление внизу колонны, которое мы принимаем равным 5 атмосфер.

Искомая температура $T_{\text{низа}} = 526,21 \text{ К} = 253,21^\circ\text{C}$.

Таблица 1.7

Расчёт температуры низа колонны

P_i	K_i	$\sum X'_{wi} \cdot k_i$
39,71753	7,94351	0,00003
29,43317	5,88664	0,00252
24,26329	4,85267	0,03827
19,4138	3,88275	0,23094
12,60268	2,52054	0,41728
6,474372	1,29488	0,19858
2,501606	0,50033	0,09507
0,375244	0,07506	0,01722

P_i	K_i	$\sum X'_{w_i} \cdot k_i$
0,003647	0,00074	0,00015
Итого	-	1,00000

Температура ввода сырья в отбензинивающую колонну обычно составляет 200-220°C. Принимаем

$$T_{\text{ввода}} = T_F = 493 \text{ K} = 220^\circ\text{C}$$

При этой температуре сырьё будет находиться в парожидкостном состоянии, в связи с этим нужно определить долю отгона сырья, состав его жидкой и паровой фазы.

Расчет доли отгона произведём способом А.М. Трегубова. Чтобы это сделать, будем путём последовательного приближения подбирать значение мольной доли отгона сырья e' , при котором выполнится тождество:

Таблица 1.8

Расчёт доли отгона сырья на входе в колонну

Компо- ненты	t_{cp}	M_i	c_i	$\frac{c_i}{M_i} \cdot 10^3$	c'_i	P_i , кПа	$\frac{P_i}{P_{BX}}$	$\frac{P_i}{P_{BX}} - 1$	$e^{\left(\frac{P_i}{P_{BX}} - 1\right)}$	$e^{\left(\frac{P_i}{P_{BX}} - 1\right) + 1}$	x'_i	y'_i	$y'_i \cdot M_i$
28-58	43	65	0,0209	0,3212	0,0544	2816,9467	6,2599	5,2599	0,5919	1,5919	0,0343	0,2135	13,89
58-72	65	73	0,0215	0,2925	0,0496	2008,3134	4,4629	3,4629	0,3898	1,3898	0,0357	0,1587	11,56
72-85	78,5	78	0,0199	0,2546	0,0432	1614,9319	3,5889	2,5889	0,2914	1,2915	0,0335	0,1197	9,34
85-102	93,5	84	0,0279	0,3282	0,0557	1255,7647	2,7908	1,7907	0,2016	1,2016	0,0466	0,1289	10,87
102-140	121	97	0,0778	0,8015	0,1363	771,6882	1,7147	0,7148	0,0806	1,0806	0,1259	0,2162	20,97
140-180	160	118	0,0875	0,7425	0,1268	365,0803	0,8115	-0,1889	-0,0214	0,9787	0,1298	0,1053	12,35
180-240	210	148	0,1367	0,9196	0,1587	126,6669	0,2817	-0,7187	-0,0808	0,9194	0,1727	0,0486	7,21
240-350	295	212	0,2357	1,1097	0,1943	17,6186	0,0394	-0,9608	-0,1088	0,8917	0,2179	0,0087	1,82
350- К.К.	437	398	0,3735	0,9392	0,1825	3,2875	0,0075	-0,9928	-0,1119	0,8885	0,2054	0,0017	0,61
Итого	-	-	1,0000	5,7077	1,0000	-	-	-	-	-	1,0000	1,0000	88,58

$$\lg(P_i - 3158) = 7,6715 - 2,68 \frac{f(T)}{f(T_{cp})}, \text{ Па}$$

$$f(T) = \frac{1250}{\sqrt{T^2 + 108000} - 307,6} - 1$$

$$f(T_{cp}) = \frac{1250}{\sqrt{T_{cp}^2 + 108000} - 307,6} - 1$$

$$x'_i = \frac{c'_i}{1 + e^{\left(\frac{P_i}{P_{BX}} - 1\right)}} \quad y'_i = \frac{P_i}{P_{BX}} \cdot x'_i$$

$$\sum \frac{c_i'}{1 + e' \left(\frac{P_i}{P_{\text{вх}}} - 1 \right)} = \sum x_i' = 1 \quad (1.27)$$

Все расчёты приведены в табл. 1.8, где

c_i - это массовая доля отдельных фракций нефти;

e' - это мольная доля отгона;

c_i' , x_i' , y_i' - это мольные доли отгона отдельных фракций в сырье, в жидкой и паровой фазах сырья;

M_i - это молекулярный вес отдельной фракции;

P_i - это давление насыщенных паров отдельных фракций при температуре ввода сырья, по уравнению Ашворта;

$P_{\text{вх}}$ - это абсолютное давление в зоне питания, принимаемая равно среднему давлению в колонне 4,5 ат или 450 кПа;

P_i - это давление насыщенных паров отдельных фракций при температуре ввода сырья, по уравнению Ашворта;

$T_{\text{ср}}$ - это средняя температура кипения фракции, К;

T - это температура при которой определяем давление паров, 493 К. Искомая величина $e' = 0,1125$.

Молекулярный вес каждого компонента M_i вычислим по формуле Воинова. По данным таблицы 9 средний молекулярный вес нефти будет равен:

$$M_{\text{н}} = \frac{1}{\sum \frac{c_i}{M_i}} = \frac{1}{5,7077 \cdot 10^{-3}} = 175$$

Молекулярный вес паровой фазы будет равен $M_y = y_i' \cdot M_i = 89$

Массовая доля отгона определяется по формуле:

$$e = e' \frac{M_y}{M_{\text{н}}} = 0,1125 \cdot \frac{89}{175} = 0,0572$$

1.6 Минимальное флегмовое число

Минимальное флегмовое число R_{min} определится по уравнениям Андервуда, [4, стр.101]:

$$\sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{\text{Fi}}}{\alpha_i - \Theta} = 1 - q \quad (1.28)$$

$$\sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{Di}}{\alpha_i - \Theta} = R_{\min} + 1 \quad (1.29)$$

где α_i – это коэффициент относительной летучести относительно ключевого компонента

$$\alpha_i = \frac{P_i}{P_k} \quad (1.30)$$

где P_i – это давление насыщенных паров при температуре ввода сырья;

P_k – это давление насыщенных паров ключевого компонента (которое мы задавали в начале);

Θ – это корень уравнения Андервуда, величина которого находится между значениями α_i ключевых компонентов.

В большинстве случаев при возрастании Θ левая часть уравнения будет увеличиваться.

q – это отношение количества тепла Q , которое нужно сообщить сырью, чтобы можно было перевести его в пар, к скрытой теплоте испарения сырья $Q_{\text{исп}}$:

$$q = \frac{Q}{Q_{\text{исп}}} \quad \text{либо} \quad q = \frac{J_{\text{п}} - J_{\text{с}}}{J_{\text{п}} - J_{\text{ж}}} \quad (1.31)$$

где $J_{\text{п}}$ – это энтальпия насыщенных паров сырья;

$J_{\text{с}}$ – это энтальпия сырья при температуре ввода;

$J_{\text{ж}}$ – это энтальпия кипящей жидкости сырья.

В расчётах минимального флегмового числа могут быть следующие варианты:

а) Если сырьё вводится в виде насыщенных паров, то $e'=1$ и $q=0$.

б) Если сырьё вводится в виде холодной жидкости, не доведенной до температуры кипения, то $q>1$.

в) Если сырьё вводится при температуре кипения, то $e'=0$ и $q=1$.

г) Если сырьё вводится в виде парожидкостной смеси,

то $0 < e' < 1$ и $1 - q = e'$.

д) Если сырьё вводится в виде перегретых паров, то $q < 0$.

Таблица 1.9

Расчёт минимального флегмового числа

№ компонента	X'_{Fi}	P_i при t_F	α_i	$\sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{Fi}}{\alpha_i - \Theta}$	X'_{Di}	$\sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{Di}}{\alpha_i - \Theta}$
1	0,0563	2,8168	1,7444	0,1155	0,3698	0,7592
2	0,0513	2,0084	1,2437	0,1824	0,3345	1,1906
3	0,0447	1,6148	1,0000	0,4215	0,2493	2,3562
4	0,0576	1,2557	0,7778	-0,3833	0,0464	-0,3087
5	0,1405	0,7718	0,4778	-0,1612	0,0001	-0,0001
6	0,1302	0,3652	0,2262	-0,0441	0	0
7	0,1612	0,1268	0,0785	-0,0156	0	0
8	0,1945	0,0177	0,0108	-0,0025	0	0
9	0,1646	0,0033	0,0020	-0,0004	0	0
Сумма	1,0000	-	-	0,1125	1,0000	3,9970

В этом случае $1-q=e=0,1125$. Способом подбора найдем из первого уравнения Андервуда корень Θ , подставим его во второе уравнение и определим R_{min} . Все результаты расчета показаны в таблице 9.

$$\Theta = 0,8944$$

$$R_{min} = \sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{Di}}{\alpha_i - \Theta} - 1 = 3,997 - 1 = 2,997 \quad (1.32)$$

1.7 Оптимальное флегмовое число. Число теоретических тарелок.

Проведём два метода расчёта оптимального флегмового числа [4].

1. Графический способ Джиллиленда

а) Зададимся коэффициентом избытка флегмы $\sigma_i = (1,1 \dots 1,8)$.

б) Произведем расчет флегмовых чисел:

$$R_i = \sigma_i \cdot R_{min} \quad (1.33)$$

Например, $R_1 = 1,1 \cdot 2,997 = 3,29677$.

в) Найдем параметр X_i :

$$X_i = \frac{R_i - R_{\min}}{R_i + 1} \quad (1.34)$$

$$X_1 = \frac{3,2967 - 2,997}{3,2967 + 1} = 0,06975$$

г) Найдем параметр Y_i :

$$Y_i = 1 - \exp \left[\left(\frac{1 + 54,4 \cdot X_i}{11 + 117,2 \cdot X_i} \right) \left(\frac{X_i - 1}{\sqrt{X_i}} \right) \right] \quad (1.35)$$

$$, Y_1 = 1 - \exp \left[\left(\frac{1 + 54,4 \cdot 0,06975}{11 + 117,2 \cdot 0,06975} \right) \left(\frac{0,06975 - 1}{\sqrt{0,06975}} \right) \right] = 0,58551$$

д) Найдем количество теоретических тарелок N из уравнения:

$$N_i = \frac{Y_i + N_{\min}}{1 - Y_i} \quad (1.36)$$

$$\text{Например, } N_1 = \frac{0,58551 + 11,35433}{0,58551} = 28,80615$$

е) Найдем величину $N_i(R_i+1)$: (1.37)

$$\text{Например, } N_1 \cdot (R_1 + 1) = 28,80615 \cdot (3,2967 + 1) = 123,7701$$

Расчёты показаны в таблице 10.

Таблица 1.10

Расчёт параметров $R_{\text{опт}}$ и $N_{\text{опт}}$

σ_i	R_i	x_i	y_i	N_i	$N_i(R_i+1)$
1,1	3,2968	0,0699	0,5857	28,8063	123,7702
1,2	3,5966	0,1306	0,5238	24,9347	114,6078
1,3	3,8962	0,1838	0,4749	22,5179	110,2481
1,4	4,1959	0,2307	0,4348	20,8573	108,3682
1,5	4,4956	0,2727	0,4017	19,6435	107,9487
1,6	4,7953	0,3105	0,3736	18,7155	108,4579
1,7	5,0948	0,3444	0,3493	17,9815	109,5928
1,8	5,3947	0,3748	0,3282	17,3853	111,1698

ж) Построим график $N_i \cdot (R_i + 1) = f(R_i)$:

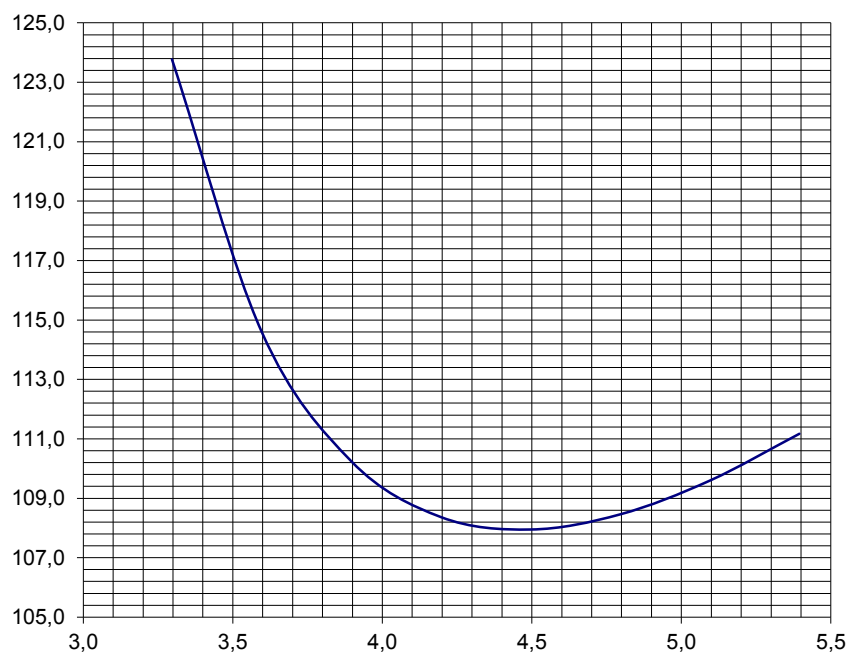


Рисунок 1 - График зависимости параметра $N_i \cdot (R_i + 1)$ от флегмового числа

Минимальная точка на полученной кривой будет соответствовать искомым параметрам: $R_{\text{опт}}=4,45$; $N_{\text{опт}}=21,65$; $\sigma_{\text{опт}}=1,5$.

2. Аналитический вариант расчёта:

$$R_{\text{опт}} = 1,35 \cdot R_{\text{мин}} + 0,35 \quad (1.38)$$

$$R_{\text{опт}} = 1,35 \cdot 2,9967 + 0,35 = 4,3958$$

$$N_{\text{опт}} = 1,7 \cdot N_{\text{мин}} + 0,7 \quad (1.39)$$

$$N_{\text{опт}} = 1,7 \cdot 11,35433 + 0,7 = 23,0025$$

Мы выяснили, что оба способа показывают близкие результаты. В дальнейшем примем к расчётам данные более точного графического способа.

1.8 Место ввода сырья. Рабочее число тарелок.

Определим минимальное число теоретических тарелок в концентрационной части колонны ($N_{\text{мин}}^{\text{конц}}$) [3, стр 114]:

$$N_{\min}^{\text{конц}} = \frac{\lg\left(\frac{X'_{D3} \cdot X'_{F4}}{X'_{F3} \cdot X'_{D4}}\right)}{\lg \frac{\alpha_3}{\alpha_4}}, \quad (1.40)$$

где α_3 и α_4 – это коэффициенты относительной летучести компонентов при температуре ввода сырья (см. табл. 10).

$$N_{\min}^{\text{конц}} = \frac{\lg\left(\frac{24,92262 \cdot 4,62866}{4,45738 \cdot 5,74712}\right)}{\lg \frac{1}{0,7776}} = 7,7028 \sim 8$$

Оптимальное число теоретических тарелок в верхней части колонны

$$\frac{N_{\min}^{\text{конц}}}{N_{\min}} = \frac{N_{\text{опт}}^{\text{конц}}}{N_{\text{опт}}} \quad (1.41)$$

$$N_{\text{опт}}^{\text{конц}} = \frac{N_{\min}^{\text{конц}} \cdot N_{\text{опт}}}{N_{\min}}$$

$$N_{\text{опт}}^{\text{конц}} = \frac{7,7028 \cdot 23,65}{11,35433} = 16,14 \sim 17$$

Рабочее число тарелок в колонне будет рассчитываться по формуле:

$$N_{\text{раб}} = \frac{N_{\text{опт}}}{\eta_{\text{тарелок}}} \quad (1.42)$$

где $\eta_{\text{тарелок}}$ - это к.п.д. тарелки, которое мы принимаем равным 0,65.

$$N_{\text{раб}} = \frac{23,65}{0,65} = 36,4 \sim 36$$

Рабочее число тарелок в верхней части колонны будет рассчитываться по формуле

$$N_{\text{раб}}^{\text{конц}} = \frac{N_{\text{опт}}^{\text{конц}}}{\eta_{\text{тарелок}}}$$

$$N_{\text{раб}}^{\text{конц}} = \frac{16,14}{0,65} = 24,8 \sim 25$$

Внутри исчерпывающей нижней части колонны будет $36-25=11$ тарелок.

1.9 Внутренние материальные потоки.

а) В верхней части колонны.

Количество флегмы, которая стекает с тарелок в верхней части колонны [4, 189]:

$$L_B = R_{\text{опт}} \cdot D = 4,45 \cdot 3250 = 14462,5 \text{ кг/ч} \quad (1.43)$$

Количество паров, которые поднимаются с тарелок в верхней части колонны:

$$G_B = L_B + D = 14462,5 + 3250 = 17712 \text{ кг/ч} \quad (1.44)$$

Объём паров рассчитывается по формуле:

$$V_B = \frac{22,4 \cdot G_B \cdot (273 + t_B) \cdot P_{\text{атм}}}{3600 \cdot M_B \cdot 273 \cdot P_{\text{верха}}}$$

$$V_g = \frac{22,4 \cdot 17712 \cdot (273 + 118,42) \cdot 101000}{3600 \cdot 71,81 \cdot 273 \cdot 400000} = 0,8 \text{ м}^3/\text{с} = 2880 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Плотность паров рассчитывается по формуле:

$$\rho_n^g = \frac{G_g}{3600 \cdot V_g} = \frac{17712}{3600 \cdot 0,8} = 6,15 \text{ кг/м}^3 \quad (1.46)$$

Относительная плотность жидкости рассчитывается по формуле:

$$\rho_{277}^{293} = \rho_{288}^{288} - 5 \cdot \alpha = 0,68603 - 5 \cdot 0,000897 = 0,68154 \quad (1.47)$$

где $\alpha = 0,000897$ - это температурная поправка по формуле Кусакова.

Относительная плотность при температуре верха колонны рассчитывается по формуле:

$$\rho_t = \rho_{277}^{293} - \alpha \cdot (t - 20) = 0,68154 - 0,000897 \cdot (118,42 - 20) = 0,59326$$

Абсолютная плотность жидкости будет равна $\rho_{ж} = 593,26 \text{ кг/м}^3$

Объёмный расход жидкости рассчитывается по формуле:

$$L_{vg} = \frac{L_g}{\rho_{ж}} = \frac{14462,5}{593,261} = 24,38 \text{ м}^3/\text{ч}$$

(1.48)

б) В Нижней части колонны.

Количество флегмы, которая стекает с тарелок нижней части колонны рассчитывается по формуле:

$$L_H = L_B + F(1 - e) = 14462,5 + 25000(1 - 0,0572) = 37870 \text{ кг/ч}$$

Количество паров, поднимающихся с тарелок нижней части колонны рассчитывается по формуле:

$$G_H = L_H - W = 37870 - 21750 = 16120 \text{ кг/ч} \quad (1.49)$$

Объём паров рассчитывается по формуле:

$$V_H = \frac{22,4 \cdot G_H \cdot (273 + t_H) \cdot P_{\text{атм}}}{3600 \cdot M_H \cdot 273 \cdot P_{\text{низа}}} \quad (1.50)$$

$$V_g = \frac{22,4 \cdot 16120 \cdot (273 + 253,2) \cdot 101000}{3600 \cdot 193,74 \cdot 273 \cdot 500000} = 0,202 \text{ м}^3/\text{с} = 727,2 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Плотность паров рассчитывается по формуле:

$$\rho_H = \frac{G_H}{3600 \cdot V_H} = \frac{207635}{3600 \cdot 2,5964} = 22,2141 \text{ кг/м}^3 \quad (1.51)$$

Плотность жидкости рассчитывается по формуле:

$$\rho_{277}^{293} = \rho_{288}^{288} - 5 \cdot \alpha = 0,85195 - 5 \cdot 0,000686 = 0,84851 \quad (1.52)$$

где $\alpha = 0,000686$ - температурная поправка по формуле Кусакова.

Относительная плотность жидкости при температуре низа колонны рассчитывается по формуле:

$$\rho_t = \rho_{277}^{293} - \alpha \cdot (t - 20) = 0,84851 - 0,000686 \cdot (253,2 - 20) = 0,68854$$

Абсолютная плотность жидкости равна $\rho_{ж} = 688,54 \text{ кг/м}^3$

Объёмный расход жидкости рассчитывается по формуле:

$$L_{вн} = \frac{L_H}{\rho_{жс}} = \frac{37870}{688,54} = 55 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (1.53)$$

1.10 Материальный баланс колонны.

Таблица 1.11

Материальный баланс

ФРАКЦИИ Я	С Ы Р Ь Ё				
	% мольн.	кмоль/ч	% масс.	кг/ч	тыс т/г
28-58	5,62428	6,961434	2,08844	819,2744	7,17686
58-72	5,12051	7,0967	2,12899	828,5324	7,25796
72-85	4,45739	6,6236	1,98706	796,1284	6,9741
85-102	5,74713	9,225568	2,76768	985,7672	8,63534
102-140	14,03948	17,99966	7,77586	2346,0793	20,5517
140-180	13,00546	20,2057	8,72883	3031,6874	26,55764
180-240	16,11138	31,58739	13,64576	3925,961	34,3915
240-350	19,44218	54,51522	23,55058	6187,3311	54,20114
350-К.К.	16,45225	69,6398	37,32689	9549,49	83,65376
Итого	100	223,8547	100	28500	250

ФРАКЦИИ Я	Д И С Т И Л Л Я Т				
	% мольн.	кмоль/ч	% масс.	кг/ч	тыс т/г
28-58	36,99472	14,52341	33,51556	1089,256	8,714046
58-72	33,44424	14,70131	33,92609	1102,598	8,820783
72-85	24,92262	11,74621	27,10663	880,9655	7,047724
85-102	4,62866	2,354665	5,43842	176,5999	1,412799
102-140	0,00984	0,003999	0,01329	0,431925	0,003455
140-180	0	0	0	0	0
180-240	0	0	0	0	0
240-350	0	0	0	0	0
350-К.К.	0	0	0	0	0
Итого	100	43,33	100	3250	26

ФРАКЦИЯ	О С Т А Т О К				
	% мольн.	кмоль/ч	% масс.	кг/ч	тыс т/г
28-58	0,00033	0,000319	0,00011	0,023925	0,000191
58-72	0,04276	0,046632	0,01608	3,4974	0,027979
72-85	0,78847	0,921794	0,31786	69,13455	0,553076
85-102	5,94764	7,51158	2,59020	628,644	5,506948
102-140	16,55463	16,69848	8,29166	2446,055	21,42749
140-180	15,33700	18,74697	9,30884	2990,562	26,19738
180-240	18,99976	29,30712	14,55250	4032,108	35,32135
240-350	22,92769	50,57983	25,11550	6130,234	53,70097
350-К.К.	19,40171	64,6125	39,80724	9048,45	79,2646
Итого	100	188,424	100	25350	224

1.11 Тепловой баланс колонны

Будем рассматривать способ отвода тепла в колонне холодным испаряющимся орошением, являющимся самым распространённым в сфере нефтепереработки. Пары дистиллята будут поступать в конденсатор-холодильник (сначала воздушный, после водяной), где произойдет их конденсация и дальнейшее охлаждение конденсата до температур 30-40°C. Часть этого холодного конденсата будет далее подаваться как орошение на верхнюю тарелку, а все остальное количество будет отводиться как верхний продукт колонны.

Уравнение теплового баланса колонны в этом случае имеет вид, [5, стр 321]:

$$Q_F + Q_B = Q_D + Q_W + Q_{\text{ХОЛ}} + Q_{\text{ПОТ}} , \quad (1.54)$$

где Q_B – это тепло, которое подводится в низ колонны, кВт;

Q_F – это тепло, которое поступает в колонну с сырьём, кВт;

Q_W – это тепло, которое отводится из колонны с остатком, кВт;

Q_D – это тепло, которое отводится из колонны с дистиллятом, кВт;

$Q_{\text{ХОЛ}}$ – это тепло которое отводится в конденсаторе-холодильнике, кВт;

$Q_{\text{ПОТ}}$ – это потери тепла в окружающую среду, кВт.

$$Q_F = F_{\text{ж}} \cdot i_{\text{Фж}} + F_{\text{п}} \cdot I_{\text{Фп}} \quad (1.55)$$

$$F_{\text{п}} = F \cdot e$$

$$F_{\text{ж}} = F \cdot (1 - e)$$

где F , $F_{\text{ж}}$, $F_{\text{п}}$ – это массовые расходы жидкой и паровой фаз сырья, кг/ч;

$i_{\text{Фж}}$ – это энтальпия жидкой фазы сырья, кДж/кг;

$I_{\text{Фп}}$ – это энтальпия паровой фазы сырья, кДж/кг;

$e = 0,0572$ – это массовая доля отгона сырья;

$$Q_D = D \cdot i_{\text{ХОЛ}} , \quad (1.56)$$

где D – это массовый расход дистиллята, кг/ч;

$i_{\text{ХОЛ}}$ – это энтальпия холодного дистиллята при температуре его отвода после конденсатора-холодильника, кДж/кг;

$$Q_W = W \cdot i_W , \quad (1.57)$$

где W – это массовый расход остатка, кг/ч;

i_w – это энтальпия остатка при температуре при температуре его отвода из колонны $253,2^{\circ}\text{C}$, кДж/кг;

$$Q_{\text{ХОЛ}} = (D + L_{\text{ор}}) \cdot (I_D - i_{\text{хол}}), \quad (1.58)$$

где $L_{\text{ор}}$ - это количество холодного орошения, подающееся в ректификационную колонну, кг/ч;

I_D – это энтальпия паров дистиллята при температуре на верху колонны $118,42^{\circ}\text{C}$.

$$L_{\text{ор}} = R_{\text{опт}} D \frac{I_D - i_{\text{конд}}}{I_D - i_{\text{хол}}} = R_{\text{опт}} D \frac{Q_{\text{конд}}}{I_D - i_{\text{хол}}}, \quad (1.59)$$

где это $R_{\text{опт}} = 4,45$ - оптимальное флегмовое число;

$i_{\text{конд}}$ – это энтальпия жидкого дистиллята при его температуре конденсации, кДж/кг;

$Q_{\text{конд}}$ – это теплота конденсации паров дистиллята. Если нефтепродукты светлые, то эта величина может быть рассчитана по уравнению Крэга, [5, 323]:

$$Q_{\text{конд}} = \frac{1}{\rho_{288}} (354,1 - 0,3768 \cdot T_{\text{ср.м.}}), \text{ кДж/кг.} \quad (1.60)$$

где $T_{\text{ср.м.}}$ – это средняя молекулярная температура кипения дистиллята, К;

Среднюю молекулярную температуру кипения смеси рассчитывают по формуле:

$$T_{\text{ср.м.}} = \sum_1^n (T_i \cdot X_i'), \quad (1.61)$$

где T_i – это среднеарифметическая температура кипения узкой фракции в смеси, К:

x_i' - это мольная доля узкой фракции в смеси.

В этом случае средняя молекулярная температура кипения дистиллята будет равна:

$$T_{\text{ср.м.}} = 316 \cdot 0,3699 + 338 \cdot 0,3344 + 351,5 \cdot 0,2492 + 366,5 \cdot 0,0463 + \\ + 394 \cdot 0,0001 = 334,5 \text{ К.}$$

$$Q_{\text{конд}} = \frac{1}{0,6860} (354,1 - 0,3768 \cdot 334,5) = 332,45 \text{ кДж/кг.}$$

Температуру дистиллята после конденсатора-холодильника и вследствие температуру подачи орошения примем равной $t_{\text{хол}} = 35^\circ\text{C}$.

Энтальпию жидких нефтепродуктов при соответствующих температурах можно рассчитывать с помощью уравнения Крэга:

$$i = \frac{1}{\sqrt{\rho_{288}^{288}}} (0,0017 \cdot T^2 + 0,762 \cdot T - 334,25), \text{ кДж/кг} \quad (1.62)$$

Энтальпию паров нефтепродуктов можно рассчитывать с помощью уравнения Уэйра и Итона:

$$I = (129,58 + 0,134 \cdot T + 0,00059 \cdot T^2)(4 - \rho_{288}^{288}) - 308,99, \text{ кДж/кг} \quad (1.63)$$

Например, энтальпия жидкой фазы сырья, которая поступает в колонну при 220°C :

$$i_F = \frac{1}{\sqrt{0,8370}} (0,0017 \cdot 493^2 + 0,762 \cdot 493 - 334,25) = 496,8843 \text{ кДж/кг}$$

Результаты расчётов энтальпий потоков:

$$i_F = 496,89 \text{ кДж/кг} \quad \text{при} \quad t_F = 220^\circ\text{C}$$

$$I_F = 814,38 \text{ кДж/кг} \quad \text{при} \quad t_F = 220^\circ\text{C}$$

$$I_D = 593,81 \text{ кДж/кг} \quad \text{при} \quad t_D = 118,42^\circ\text{C}$$

$$i_{\text{хол}} = 74,51 \text{ кДж/кг} \quad \text{при} \quad t_{\text{хол}} = 35^\circ\text{C}$$

$$i_W = 582,25 \text{ кДж/кг} \quad \text{при} \quad t_W = 253,2^\circ\text{C}$$

Количество холодного орошения:

$$L_{op} = 4,45 \cdot 3250 \frac{332,45}{593,81 - 74,51} = 9155 \text{ кг/ч}$$

Рассчитаем тепловые потоки:

$$Q_F = 28500 \cdot 0,0572 \cdot 814,38 + 28500 \cdot (1 - 0,0572) \cdot 496,89 =$$

$$14678668 \text{ кДж/ч} = 4077 \text{ кВт}$$

$$Q_D = 3250 \cdot 74,51 = 242157 \text{ кДж/ч} = 67,3 \text{ кВт}$$

$$Q_W = 25350 \cdot 582,25 = 14769937 \text{ кДж/ч} = 4100 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ХОЛ}} = (3250 + 9155) \cdot (593,81 - 74,51) = 6441916 \text{ кДж/ч} = 1790 \text{ кВт}$$

Принимаем потери тепла в колонне 5%:

$$Q_{\text{пот}} = (67,3 + 4100 + 1790) \cdot 5/95 = 314 \text{ кВт}$$

Таблица 1.12

Тепловой баланс

Поток	t, °С	Энтальпия, кДж/кг	Расход, кг/ч	Количество тепла, кВт
ПРИХОД:				
С сырьём:				
паровая фаза	220,0	814,38	2548	523,49
жидкая фаза	220,0	496,88	22452	3571,18
В низ колонны				2581,43
Итого				6271,3
РАСХОД:				
С дистиллятом	35,0	74,51	3250	67,3
С остатком	253,2	582,25	25350	4100
В конденсаторе				1790
Потери				314
Итого				6271,3

1.12 Определение диаметра колонны

Диаметр колонны можно будем рассчитывать по самому нагруженному сечению по парам [5]. В этом случае в верхней части колонны расход паровой фазы больше в $0,551/0,202 = 2,73$ раза, чем в нижней.

Принимаем к установке клапанные однопоточные тарелки.

Таблица 1.13

Зависимость диаметра колонны от расстояния между тарелками

Диаметр колонны, м	Расстояние между тарелками, мм
до 1,0	200-300
1,0-1,6	300-450
1,8-2,0	450-500
2,2-2,6	500-600
2,8-5,0	600
5,5-6,4	800
более 6,4	800-900

Расстояние между тарелками будет приниматься в зависимости от диаметра колонны (см. табл.1.13). На практике эти рекомендации иногда не выполняются. В большинстве колонн расстояние между тарелками принимается так, чтобы это могло облегчить ремонт и чистку тарелок: для колонн диаметром до 2 м – 450 мм и больше, для колонн большего диаметра – не менее 600 мм, в местах где установлены люки – не менее 600 мм. Также, в колоннах, в которых находится большое число тарелок для уменьшения высоты колонны, её стоимости и металлоёмкости расстояние между тарелками уменьшают [6].

Примем расстояние между тарелками 500 мм и проверим соответствие этой величины и рассчитанным далее диаметром колонны.

Диаметр рассчитываем из уравнения расхода [5, стр.337]:

$$D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\Pi}}{3,14 \cdot W_{\max}}}, \text{ м} \quad (1.64)$$

где V_{Π} – это объёмный расход паров, м³/с;

W_{\max} – это максимальная допустимая скорость паров, м/с

$$W_{\max} = 8,47 \cdot 10^{-5} \cdot C_{\max} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\Pi}}{\rho_{\Pi}}}, \text{ м/с} \quad (1.65)$$

где C_{\max} – это коэффициент, который зависит от типа тарелки, нагрузки по жидкости, расстояния между тарелками;

$\rho_{\text{ж}}$ и ρ_{Π} – это плотность жидкой и паровой фазы, кг/м³.

$$C_{\max} = K_1 \cdot K_2 \cdot C_1 - K_3(\lambda - 35) \quad (1.66)$$

Значение коэффициента C_1 определяется в зависимости от принятого расстояния между тарелками: $C_1 = 1050$.

Коэффициент $K_3 = 5,0$ для струйных тарелок, для остальных тарелок он равен $K_3 = 4,0$.

Коэффициент λ можно найти по уравнению:

$$\lambda = \frac{0,655 \cdot L_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}} \sqrt{\frac{K_1 \cdot C_1}{V_{\text{п}} \cdot 3600}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}}, \quad (1.67)$$

где $L_{\text{ж}}$ – это массовый расход жидкой фазы в верхней части, кг/ч;

Коэффициент K_1 зависит от конструкции тарелок:

Колпачковая тарелка.....	1,0
Тарелка из S-образных элементов.....	1,0
Клапанная тарелка.....	1,15
Ситчатая и струйная тарелка.....	1,2
Струйная тарелка с отбойниками.....	1,4

Коэффициент K_2 зависит от типа колонны:

Атмосферные колонны.....	1,0
Вакуумные колонны с промывным сепаратором в зоне питания.....	1,0
Вакуумные колонны без промывного сепаратора.....	0,9
Вакуумные колонны для перегонки пенящихся и высоковязких жидкостей.....	0,6
Абсорберы.....	1,0
Десорберы.....	1,13

$$\lambda = \frac{0,655 \cdot 203879}{593,26} \sqrt{\frac{1,15 \cdot 750}{0,551 \cdot 3600}} \sqrt{\frac{593,26 - 8,86}{8,86}} = 43,121$$

$$C_{\max} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 750 - 4(43,121 - 35) = 830$$

$$W_{\max} = 8,47 \cdot 10^{-5} \cdot 830 \sqrt{\frac{593,26 - 8,86}{8,86}} = 0,31 \text{ м/с}$$

Диаметр колонны рассчитывается по формуле:

$$D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{II}}{3,14 \cdot W_{\max}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,8}{3,14 \cdot 0,31}} = 1,797 \text{ м}$$

Найденный диаметр округляем в большую сторону до ближайшего стандартного значения. Для стальных колонн рекомендуются значения диаметров от 0,4 до 1,0 м через каждые 0,1 м, от 1,2 до 4,0 м через 0,2 м, далее 2,5 м, 4,5 м, 5,0 м, 5,6 м, 6,3 м, от 7,0 до 10 м через 0,5 м, от 11,0 до 14,0 м через 1,0 м, от 16,0 до 20,0 м через 2,0 м.

Диаметр колонны примем равным $D_K = 1,8 \text{ м}$.

Проверим скорость паров при принятом диаметре колонны:

$$W_{II} = \frac{4 \cdot V_{II}}{\pi \cdot D_K^2} = \frac{4 \cdot 0,8}{3,14 \cdot 1,8^2} = 0,315 \text{ м/с}$$

Ее можно найти в допустимых пределах 0,3-0,6 м/с для колонн под давлением и с расстоянием между тарелками равным 450 мм.

Проверим нагрузку одной тарелки по жидкости:

$$L_V = \frac{L_V}{n \cdot \Omega \cdot D_K} = \frac{24,2}{2 \cdot 0,7 \cdot 1,4} = 12,35 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч}),$$

где L_V – это объёмный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{ч}$;

n – это число потоков на тарелке;

Ω – это относительная длина слива, которая обычно находится в пределах 0,65-0,75.

Найденное значение расхода жидкости на единицу длины слива меньше максимально допустимого, которое для данного типа тарелок составляет $L_V^{\text{дон}} = 20 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$.

1.13 Определение высоты колонны.

Высота колонны будет рассчитываться по уравнению [6, стр243]:

$$H_K = H_1 + H_k + H_{и} + H_{II} + H_2 + H_H + H_o, \text{ м} \quad (1.68)$$

где H_1 – это высота от верхнего днища до верхней тарелки, м;

H_k – это высота концентрационной тарельчатой части колонны, м;

$H_{и}$ – это высота исчерпывающей, отгонной тарельчатой части колонны,

м;

H_{Π} – это высота секции питания, м;

H_2 – это высота от уровня жидкости в кубе колонны до нижней тарелки, м;

$H_{\text{н}}$ – это высота низа колонны, от уровня жидкости до нижнего днища, м;

H_0 – это высота опоры, м.

Высота H_1 принимается равной половине от диаметра колонны, когда днище полукруглое, и четверти от диаметра, когда днище эллиптическое. Полушаровые днища применяют в колоннах с диаметром от 4 метров. Поэтому $H_1 = 0,25 \cdot 1,8 = 0,36$ м.

Высоты $H_{\text{и}}$ и $H_{\text{к}}$ зависят от числа тарелок в соответствующих частях колонны а также расстояния между ними:

$$H_{\text{и}} = (N_{\text{отг}} - 1)h = (10 - 1)0,5 = 4,5 \text{ м} \quad (1.69)$$

$$H_{\text{к}} = (N_{\text{конц}} - 1)h = (26 - 1)0,5 = 12,5 \text{ м} \quad (1.70)$$

где $h = 0,5$ м – расстояние между тарелками.

Высота секции питания H_{Π} берётся из расчёта расстояния между 3-4 тарелками:

$$H_{\Pi} = (4 - 1)h = (4 - 1)0,5 = 1,5 \text{ м} \quad (1.71)$$

Высота H_2 принято принимать равной от 1 до 2 м, чтобы разместить глухую тарелку и чтобы иметь равномерное распределение по сечению колонны паров, которые поступают с печи. Принимаем $H_2 = 1,5$ м.

Высота низа (куба) колонны $H_{\text{н}}$ рассчитывается, исходя из 5-10 минутного запаса остатка, который необходим для нормальной работы насоса, если прекратится подача сырья на колонну:

$$H_{\text{н}} = \frac{W \cdot 5}{\rho_{\text{ж}} \cdot 60 \cdot F_{\text{к}}} = \frac{25350 \cdot 5}{688,54 \cdot 60 \cdot 0,785 \cdot 1,8^2} = 1,21 \text{ м} \quad (1.72)$$

где $F_{\text{к}} = 0,785 \cdot D_{\text{к}}^2$ - это площадь поперечного сечения колонны, м²;

$\rho_{\text{ж}}$ –это абсолютная плотность остатка при температуре низа колонны (см. раздел 11);

Высота опоры H_0 разрабатывается с учётом обеспечения нужного подпора жидкости и принимается высотой 2-3 метров и более. Принимаем $H_0 = 2,5$ м.

Высота всей колонны:

$$H_K = 0,36 + 12,5 + 4,5 + 1,5 + 1,5 + 1,21 + 2,5 + 1 = 26 \text{ м}$$

1.14 Подбор штуцеров

Диаметры штуцеров будут определяться из уравнения расхода по допустимой скорости потока [4]:

$$D_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot W_{доп}}}, \text{ м} \quad (1.73)$$

где V – объёмный расход потока через штуцер, $\text{м}^3/\text{с}$;

Величина допустимой скорости $W_{доп}$ принимается в зависимости от назначения штуцера и фазового состояния потока ($\text{м}/\text{с}$):

Скорость жидкостного потока:

на приёме насоса и в самотечных трубопроводах 0,2-0,6
на выкиде насоса 1-2

Скорость парового потока:

в шлемовых трубах и из кипятильника в колонну 10-30
в трубопроводах из отпарных секций 10-40
в шлемовых трубах вакуумных колонн 20-60
при подаче сырья в колонну 30-50

Скорость парожидкостного потока при подаче сырья в колонну

(условно даётся по однофазному жидкостному потоку) 0,5-1,0

Рассчитанный диаметр штуцера далее округляется в большую сторону до ближайшего стандартного значения:

Таблица 1.14

Стандартные значения диаметров штуцеров

$D_{y, \text{ мм}}$	$D_{y, \text{ мм}}$	$D_{y, \text{ мм}}$	$D_{y, \text{ мм}}$	$D_{y, \text{ мм}}$	$D_{y, \text{ мм}}$
10	50	200	600	1400	2600
15	65	250	800	1600	2800
20	80	300	900	1800	3000
25	100	350	1000	2000	
32	125	400	1100	2200	
40	150	500	1200	2400	

Штуцер для ввода исходной смеси:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4G_f}{\pi p_{ж} w_{ж}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,917}{3,14 \cdot 22,214 \cdot 2}} = 0,476 \text{ м} \quad (1.74)$$

По ОН-26-01-34-66 примем штуцер с $D_y=500$ мм

Штуцер для ввода флегмы:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4G_p R}{\pi \rho_{жс} w_{жс}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,9 \cdot 4,45}{3,14 \cdot 593 \cdot 1,5}} = 0,078 \text{ м} \quad (1.75)$$

По ОН-26-01-34-66 примем штуцер с $D_y = 80$ мм

Штуцер для отвода кубового остатка:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 2G_W}{\pi p_{ж} w_{ж}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2 \cdot 7,04}{3,14 \cdot 688,54 \cdot 1,5}} = 0,131 \text{ м}. \quad (1.76)$$

По ОН-26-01-34-66 примем штуцер с $D_y = 150$ мм

Штуцер для вывода паров:

$$d_4 = \sqrt{\frac{4V_n}{\pi w_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,8}{3,14 \cdot 30}} = 0,184 \text{ м} \quad (1.77)$$

По ОН-26-01-34-66 примем штуцер с $D_y=200$ мм

Все штуцера должны быть снабжены приварными встык фланцами по ГОСТ 12820-80.

1.15 Теплоизоляция

Толщина теплоизоляционного слоя определяется по соотношению:

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из} (t_{ст} - t_{из})}{\alpha_n (t_{из} - t_{окр.с})}; \quad (1.78)$$

где $\alpha_n = 9,74 + 0,07V_t$; $V_t = t_{из} - t_{окр.с}$;

$t_{ст} = 260 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{из} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{окр.с} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ — температуры стенки, изоляции и окружающей среды соответственно. Тогда $\alpha = 9,74 + 0,07(40 - 20) = 11,14$

В качестве изоляционного материала возьмем совелит, имеющий коэффициент теплопроводности $\lambda_{из} = 0,098 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;

$$\delta_{из} = \frac{0,098(260 - 40)}{11,14(40 - 20)} = 0,097 \text{ м} \approx 100 \text{ мм}.$$

В результате технологического расчета:

- определили геометрические размеры колонного аппарата: диаметр составил 1.8 м., высота 26 м.
- нашли необходимое количество тарелок – 36. Тип тарелок – клапанная однопоточная.
- рассчитали толщину изоляционного слоя – 100 мм.
- подобрали штуцера, необходимые для ведения процесса.

Глава 2. Механический расчет

2.1 Определение расчетных параметров

Исходные данные:

$P_{\text{раб}} = 0,5$ - рабочее давление, МПа

$D_{\text{вн}} = 1800$ - внутренний диаметр, мм

$H = 20000$ - высота колонны, мм

$T_{\text{расч}} = 260$ - расчетная температура, С

$\varphi = 1$ - коэффициент прочности сварного шва

$c = 3$ - суммарная прибавка, мм

$\rho_{\text{воды}} = 1000$ - плотность воды, кг/м³

Для определения допустимых напряжений и модуля упругости воспользуемся ГОСТ Р 52857.1 – 2007, [7].

Материал стали 09Г2С

$$t := (20 \ 100 \ 150 \ 200 \ 250 \ 300 \ 350 \ 375 \ 400 \ 410)^T$$

$$\sigma := (183 \ 160 \ 154 \ 148 \ 145 \ 134 \ 123 \ 116 \ 105 \ 104)^T$$

$$E := (1.99 \ 1.91 \ 1.86 \ 1.81 \ 1.76 \ 1.71 \ 1.64 \ 1.55 \ 1.44 \ 1.35)^T$$

Допускаемое напряжение $\sigma_{tR} := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, T_{\text{расч}}), 0.5) = 138 \text{ МПа}$

Модуль упругости $E := \text{interp}(t, E, T_{\text{расч}}) \cdot 10^5 = 1.73 \times 10^5$

Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях определяется по пределу текучести для выбранной стали при $t=20$ С взятому из ГОСТ Р 52857.1 – 2007, [1]:

$$\sigma_{\text{н}} := \text{Floor}\left(\frac{R_{e20}}{1.1}, 0.5\right) = 272.5 \text{ МПа} \quad (2.1)$$

$R_{e20} := 300$ МПа предел текучести при 20С

Расчетная температура $T_p = 280$ °С.

Расчетное давление:

$$P_{\text{расч}} := P_{\text{раб}} + \frac{\rho_{\text{воды}} \cdot g \cdot h}{10^9} = 0.56 \text{ МПа} \quad (2.2)$$

Пробное давление при гидравлическом испытании:

$$P_{\text{пр}} := 1.25 \cdot P_{\text{расч}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_{tR}} = 0.899 \text{ МПа} \quad (2.3)$$

где $\sigma_{20} = 183$ - допускаемое напряжение для стали при 20 С

Условное давление для выбора фланцевых соединений определим по формуле:

$$P_{\text{усл}} := P_{\text{пр}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_{tR}} = 1.154 \text{ МПа} \quad (2.4)$$

2.2. Определение толщины стенки обечайки

Ведем расчет согласно ГОСТ Р 52857.2 – 2007, [8].

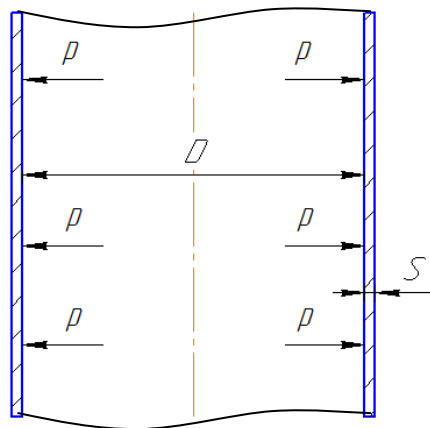


Рисунок 2 – Расчетная схема цилиндрической обечайки

Расчетная толщина стенки обечайки определяется по формуле:

$$s_R := \max\left(\frac{P_{\text{расч}} \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \sigma_{tR} \cdot \varphi - P_{\text{расч}}}, \frac{P_{\text{пр}} \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \sigma_{\text{н}} \cdot \varphi - P_{\text{пр}}}\right) = 3.662 \text{ мм} \quad (2.5)$$

Исполнительная толщина стенки включает расчетную толщину и сумму прибавок:

$$s := \text{Floor}(s_R + c, 1) = 6 \text{ мм} \quad (2.6)$$

По рекомендации [6, с. 211] принимаем толщину стенки равной $s = 10$ мм.

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляем по формуле:

$$P_{\text{доп}} := \left[\frac{2 \cdot \sigma_{tR} \cdot \varphi \cdot (s - c)}{D_{\text{вн}} + (s - c)} \right] = 1.069 \text{ МПа} \quad (2.7)$$

$1.2 < 1.069$ – условие прочности выполняется

Проверка условия применимости формул:

$$Us11 := \begin{cases} \text{"Выполняется"} & \text{if } \frac{s - c}{D_{\text{вн}}} \leq 0.1 \\ \text{"Не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.8)$$

$$Us11 = \text{"Выполняется"}$$

2.2.1 Расчет эллиптических днищ

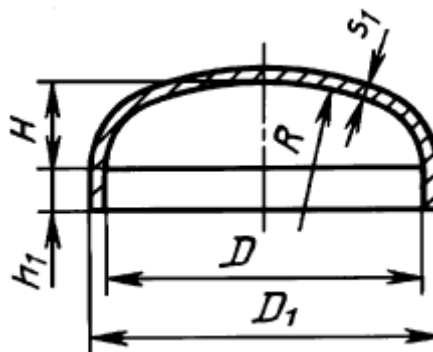


Рисунок 3 – Расчетная схема эллиптического днища

Расчетная толщина днища определяется по формуле:

$$s_R := \max \left(\frac{P_{\text{расч}} \cdot R}{2 \cdot \sigma_{tR} \cdot \varphi - 0.5 \cdot P_{\text{расч}}}, \frac{P_{\text{пр}} \cdot R}{2 \cdot \sigma_{tR} \cdot \varphi - 0.5 \cdot P_{\text{пр}}} \right) = 6.534 \text{ мм} \quad (2.9)$$

где $R = D_{\text{вн}}$ - радиус кривизны в вершине днища.

$$H = 0.25D = 450 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина:

$$s_{\text{пн.}} := s_R + c = 9.534 \text{ мм} \quad (2.10)$$

Принимаем толщину днища стандартного значения $s_{\text{дн}} = 10 \text{ мм}$

Допускаемое давление для днища:

$$P_{\text{доп.}} := \frac{2 \cdot \sigma_{tR} \cdot \varphi \cdot (s_{\text{дн}} - c)}{D_{\text{вн}} + 0.5 \cdot (s_{\text{дн}} - c)} = 1.071 \text{ МПа}$$

$1.071 > 1.4$ – условие прочности выполняется

Проверка применимости формул для эллиптических днищ:

$$Us12 := \begin{cases} \text{"Выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_{\text{дн}} - c}{D_{\text{вн}}} \leq 0.1 \\ \text{"Не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.11)$$

$$Us12 = \text{"Выполняется"}$$

Определим длину отбортованной цилиндрической части днища по формуле:

$$h_1 := 0.8 \cdot \sqrt{D_{\text{вн}} \cdot (s_{\text{дн}} - c)} = 84.664 \text{ мм} \quad (2.12)$$

Принимаем $h = 80 \text{ мм}$.

Таким образом, в результате расчета определили толщину стенки цилиндрической обечайки – 12 мм и толщину цилиндрического днища – 12 мм.

2.3 Сопряжение обечайки и днища

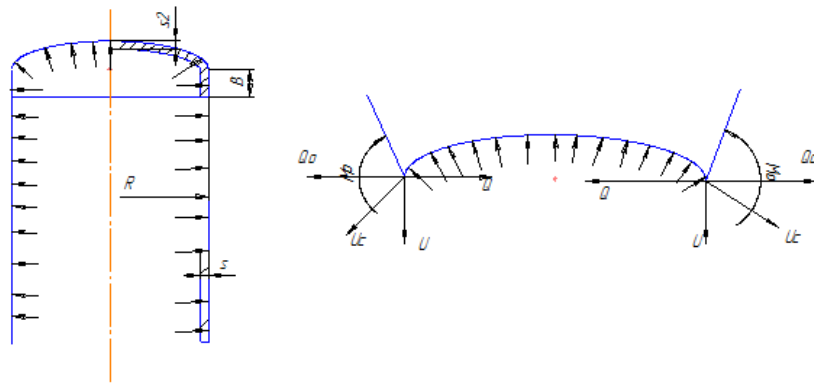


Рисунок 4 – Схема к определению краевых сил и моментов

Определяем краевые силы и моменты из уравнения совместимости деформаций для места стыка обечайки с эллиптическим днищем, [14]:

$$\Delta_{ц.р.} + \Delta_{ц.Q0} + \Delta_{ц.M0} = \Delta_{э.р} + \Delta_{э.Q0} + \Delta_{э.M0} \quad (2.13)$$

$$\Theta_{ц.р.} + \Theta_{ц.Q0} + \Theta_{ц.M0} = -\Theta_{э.р} - \Theta_{э.Q0} - \Theta_{э.M0} \quad (2.14)$$

где $\Delta_{р}^{ц}, \Delta_{Q_0}^{ц}, \Delta_{M_0}^{ц}, Q_{р}^{ц}, Q_{Q_0}^{ц}, Q_{M_0}^{ц}$ - соответственно радиальные и угловые перемещение края цилиндрической оболочки под действием нагрузок P, Q_0, M_0 ;

$\Delta_{р}^{э}, \Delta_{Q_0}^{э}, \Delta_{M_0}^{э}, \Theta_{р}^{э}, \Theta_{Q_0}^{э}, \Theta_{M_0}^{э}$ - соответственно радиальные и угловые перемещение края эллиптической оболочки под действием нагрузок P, Q_0, M_0 ;

Подставляем соответствующие значения деформаций и решаем полученные уравнения с помощью программы Mathcad 15:

$$f1(Q_0, M_0) := \frac{(2 - \mu) \cdot R^2}{2 \cdot E \cdot (s - c)} \cdot P_{расч} - \frac{2 \cdot \beta \cdot R^2}{(s - c) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{(s - c) \cdot E} \cdot M_0 - \frac{P_{расч} \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot (s - c)} \cdot \left(2 - \mu - \frac{a^2}{b^2} \right) - \frac{2 \cdot \beta \cdot a^2}{(s - c) \cdot E} \cdot Q_0 - \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot a^2}{(s - c) \cdot E} \cdot M_0 \quad (15)$$

$$f2(Q_0, M_0) := -\frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R_1^2}{(s-c) \cdot E} \cdot Q_0 + \frac{4 \cdot \beta^3 \cdot R_1^2}{(s-c) \cdot E} \cdot M_0 + \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot a^2}{(s-c) \cdot E} + \frac{4 \cdot \beta^2 \cdot a^2}{(s-c) \cdot E} \cdot M_0 \quad (2.16)$$

$\mu := 0.3$ - коэффициент Пуассона

$a := 700$

$R_1 := 700$

$b := 350$

$\beta := \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu)^2}}{\sqrt{R_1 \cdot (s - c)}} = 0.016$

$Q_0 := 1 \quad M_0 := 1$

Given

$$f1(Q_0, M_0) = 0$$

$$f2(Q_0, M_0) = 0$$

$$\text{Find}(Q_0, M_0) = \begin{pmatrix} 17.8 \\ 8.27 \end{pmatrix}$$

В итоге получаем следующие значения:

$$\begin{aligned} Q_0 &:= 18 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \\ M_0 &:= 9 \quad \text{Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}} \end{aligned}$$

Определим суммарные напряжения на краю эллиптического днища, меридиальное и кольцевое соответственно по формулам:

$$\sigma_{m\Theta} = \sigma_{Pm\Theta} + \sigma_{Qm\Theta} + \sigma_{Mm\Theta} \quad (2.17)$$

$$\sigma_{t\Theta} = \sigma_{Pt\Theta} + \sigma_{Qt\Theta} + \sigma_{Mt\Theta} \quad (2.18)$$

где $\sigma_{m\Theta}^P$, $\sigma_{m\Theta}^{Q_0}$, $\sigma_{m\Theta}^{M_0}$ - соответственно меридиальные напряжения действующие от нагрузок P, Q0, M0;

$\sigma_{t\Theta}^P, \sigma_{t\Theta}^{Q_0}, \sigma_{t\Theta}^{M_0}$ - соответственно кольцевые напряжения действующие от нагрузок P, Q0, M0.

Подставим соответствующие значения нагрузок в формулы (17,18):

$$\sigma_{m\Theta} := \frac{P_{расч} \cdot a}{2 \cdot (s - c)} + \frac{6 \cdot M_0}{(s - c)^2} = 29.102$$

$$\sigma_{t\Theta} := \frac{(P_{расч} \cdot a) - \left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{2 \cdot (s - c)} + \frac{2 \cdot Q_0 \cdot \beta \cdot a}{s - c} + \frac{2 \cdot \mu \cdot \beta^2 \cdot a}{s - c} + \frac{6 \cdot \mu \cdot M_0}{(s - c)^2}$$

$$\sigma_{m\Theta} = 29.102 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{t\Theta} = 85.117 \text{ МПа}$$

Определим суммарные напряжения на краю цилиндрической обечайки, меридиальное и кольцевое по формулам:

$$\sigma_{m0} = \sigma_{Pm0} - \sigma_{Qm0} + \sigma_{Mm0}$$

$$\sigma_{t0} = \sigma_{Pt0} - \sigma_{Qt0} + \sigma_{Mt0}$$

Подставив соответствующие значения нагрузок, получим:

(2.19)

$$\sigma_{m0} := \frac{P_{расч} \cdot R}{2 \cdot (s - c)} + \frac{6 \cdot M_0}{(s - c)^2}$$

$$\sigma_{t0} := \frac{P_{расч} \cdot R}{(s - c)} - \frac{2 \cdot Q_0 \cdot \beta \cdot R}{s - c} + \frac{2 \cdot \mu \cdot \beta^2 \cdot R}{s - c} + \frac{6 \cdot \mu \cdot M_0}{(s - c)^2}$$

$$\sigma_{m0} = 29.102 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{t0} = -0.283 \text{ МПа}$$

(2.20)

Определим максимальное напряжение на краю эллиптического днища и цилиндрической обечайки:

$$\sigma_{\max} := \max(\sigma_{mЭ}, \sigma_{tЭ}, \sigma_{m0}, \sigma_{t0}) = 85.117 \text{ МПа}$$

Проверка выполнения условия прочности в месте сопряжения элементов:

$$Us13 := \begin{cases} \text{"Выполняется"} & \text{if } \sigma_{\max} < \sigma_{tR} \\ \text{"Не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us13 = \text{"Выполняется"}$$

2.4 Укрепление отверстий в обечайке и днищах

Ведем расчет согласно ГОСТ Р 52857.3 – 2007, [9].

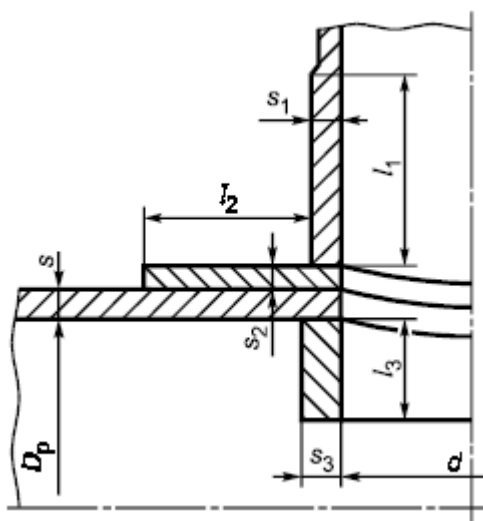


Рисунок 5 – Основная расчетная схема соединения штуцера со стенкой сосуда

Условные обозначения:

$h = 350$ мм – высота стандартного эллиптического днища

$r = 0$ – расстояние от центра укрепления отверстия до оси оболочки

$d = 520$ мм – внутренний диаметр штуцера

$l_1, l_3 = 200/50$ длины внешней и внутренней частей штуцера

$l_2 = 0$ исполнительная ширина накладного кольца

$s_1 = 10$ мм - толщина стенки штуцера

$s_2 = 0$ исполнительная толщина накладного кольца

Ведем расчет в среде автоматизированного проектирования MathCAD
15.

Рассчитаем необходимость укрепления отверстия под люк-лаз, так как штуцер для него он имеет наибольший внутренний диаметр – 500 мм.

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

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

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

Согласно выбранной оболочки, находим диаметры укрепляемых элементов по формулам:

$$D_p := \begin{cases} D_p \leftarrow D_{вн} & \text{if } n = 1 \\ D_p \leftarrow \frac{D_{вн}^2}{2 \cdot h} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \left(\frac{D_{вн}^2 - 4 \cdot h^2}{D_{вн}^4} \right) \cdot r^2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$D_p = 1.8 \times 10^3 \text{ мм} \quad (2.22)$$

Определяем расчетный диаметр отверстия в стенке оболочки:

$$d_p := \begin{cases} d_p \leftarrow d + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \end{cases} \quad (2.23)$$

$$d_p \leftarrow \frac{d + 2 \cdot c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot r}{D_p} \right)^2}} \quad \text{otherwise} \quad (2.24)$$

$$d_p = 506 \text{ мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$\text{Прим} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D_{\text{BH}}} > 1 \right) \text{ if } n = 1 \\ \left(\left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D_{\text{BH}}} > 0.6 \right) \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.25)$$

$$\text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{s - c}{D_{\text{BH}}} > 0.1 \right) \text{ if } n = 1 \quad (2.26)$$

$$\left(\left(\frac{s - c}{D_{\text{BH}}} > 0.1 \right) \right) & \text{otherwise} \quad (2.27)$$

$$\text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \quad (2.28)$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Прим = "Условия применения формул выполняются"

Расчетные толщины стенок укрепляемых элементов определяем в соответствии с ГОСТ 52857.2 – 2007, [8]:

$$s_p := \begin{cases} \frac{P_{\text{расч}} \cdot D_p}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{tR} - P_{\text{расч}}} & \text{if } n = 1 \end{cases} \quad (2.29)$$

$$\begin{cases} \frac{P_{\text{расч}} \cdot D_p}{4 \cdot \varphi \cdot \sigma_{tR} - P_{\text{расч}}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad s_p = 3.662 \text{ мм} \quad (2.30)$$

Расчетная толщина стенки штуцера определяется по формуле:

$$s_{p1} := \frac{P_{\text{расч}} \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{tR} \cdot \varphi - P_{\text{расч}}} = 1.029 \text{ мм} \quad (2.31)$$

Находим расчетные длины внешней и внутренней частей штуцера соответственно:

$$l_{1p} := \min \left[11, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right] = 59.515 \text{ мм} \quad (2.32)$$

$$l_{3p} := \min \left[13, 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - 2c)} \right] = 22.494 \text{ мм} \quad (2.33)$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{2p} := \min\left[12, \sqrt{D_p \cdot (s + s_2 - c)}\right] = 0 \text{ мм} \quad (2.34)$$

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

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 112.25 \text{ мм} \quad (2.35)$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера - $\chi_1 := 1$

для накладного кольца - $\chi_2 := 1$

для внутренней части штуцера - $\chi_3 := 1$

Находим расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления по формуле:

$$d_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 44.9 \text{ мм} \quad (2.36)$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_o := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 249.818 \text{ мм} \quad (2.37)$$

$Usl4 := \begin{cases} \text{"Укрепление отверстия НЕ требуется"} & \text{if } d_p < d_o \\ \text{"Укрепление отверстия НЕОБХОДИМО"} & \text{otherwise} \end{cases}$ суда или
 шту Тип = "цилиндрическая оболочка" вкой или
 отб. $Usl4 = \text{"Укрепление отверстия НЕОБХОДИМО"}$

$$l_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \geq 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \quad (2.38)$$

$$l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_1 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) = 758.288$$

$$0.5 \cdot (d_p - d_{op}) = 233.201$$

758,288 > 233,2 – условие выполняется

Так как условие выполнилось, находим внутреннее избыточное: коэффициент понижения прочности:

$$K := \begin{cases} K \leftarrow 1 & \text{if } n = 1 \\ K \leftarrow 2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$K = 1$$

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_2 - c - c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K \cdot \frac{d + 2 \cdot c}{D_p} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} = 0.888 \quad (2.39)$$

Допускаемое давление:

$$P_{дв} := \frac{2 \cdot K \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{tR} \cdot V}{D_p + (s - c) \cdot V} = 1.321 \text{ МПа} \quad (2.40)$$

1.321 > 1 – условие прочности выполняется

Аналогично выполняем расчет для остальных отверстий.

Результаты запишем таблицу 2.1:

Таблица 2.1

Результаты расчета укреплений отверстий

Назначение	Диаметр, мм	Длина внутренней части штуцера, мм	Длина внешней части штуцера, мм	Укрепление отверстия	Толщина стенки штуцера, мм	Допускаемое внутреннее давление, МПа
Ввод флегмы	80	35	180	-	6	1,7
Ввод исходной смеси	500	100	200	+	10	1,221

Назначение	Диам штуцера, мм	Длина внутренней части штуцера, мм	Длина внешней части штуцера, мм	Укрепление отверстия	Толщина стенки штуцера, мм	Допускаемое внутреннее давление, МПа
Люк-лаз	500	100	200	+	10	1,221
Вывод паров, кубового остатка	150	45	200	-	6	1,5

В результате проведенного расчета установили, что требуется укрепление отверстия под штуцер для ввода исходной смеси и для люка-лаза. Путем увеличения толщины стенок штуцеров исключили необходимость установки накладных колец.

2.5 Расчет фланцевых соединений

Расчет ведем по ГОСТ Р 52857.4 – 2007, [10]

Исходя из рабочих условий и в соответствии с рекомендациями [13, с 213], выбираем приварные встык фланцы с уплотнительной поверхностью типа выступ - впадина

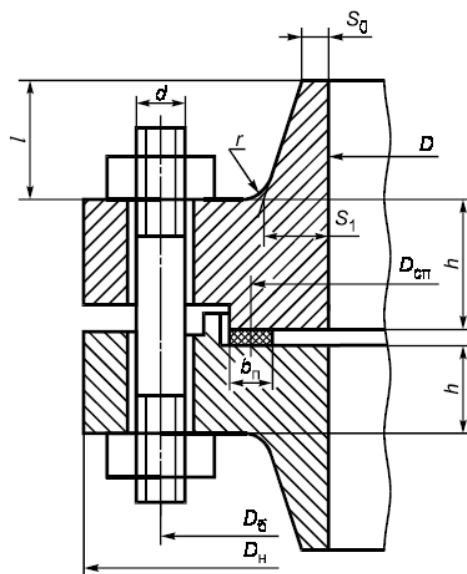


Рисунок 6 – Фланцевое соединение с уплотнительной поверхностью типа выступ - впадина

Расчет проведем для наибольшего диаметра фланцевого соединения, т.е. для люка-лаза.

Данные:

$D := 500$	внутренний диаметр фланца, мм
$D_H := 670$	наружный диаметр фланца, мм
$D_B := 620$	диаметр болтовой окружности, мм
$D_{СП} := 550$	расчетный диаметр прокладки, мм
$b_{П} := 20$	ширина прокладки, мм
$h := 30$	ширина тарелки фланца, мм
$h_{П} := 2$	толщина прокладки, мм
$S_0 := 10$	толщина стенки штуцера, мм
$d := 24$	диаметр болта, мм
$n := 20$	количество болтов
$t := 280$	расчетная температура, C
$P := 1$	пробное давление, МПа
$c_0 := 3$	

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПМБ.

Выбор крепежных элементов:

Расчетная температура неизолированных плоских фланцев определяется по формуле:

$$t_{\Phi} := 0.96 \cdot t = 268.8 \text{ C} \quad (2.42)$$

Расчетная температура шпилек:

$$t_{\zeta} := 0.85 \cdot t = 238 \text{ C} \quad (2.43)$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 35Х:

$$t := \begin{pmatrix} 250 \\ 300 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 222 \\ 222 \end{pmatrix} \quad +$$

$$\sigma_{д.б} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\zeta}), 0.5) = 222 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при рабочей температуре:

$$E_{\sigma} := 2.05 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для шпилек при $t = 20 \text{ C}$:

$$\sigma_{20\sigma} := 183.3 \text{ МПа}$$

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

$$\alpha_{\sigma} := 14.8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 09Г2С

$$t := \begin{pmatrix} 250 \\ 300 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 145 \\ 134 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi}), 0.5) = 140.5 \text{ МПа} \quad +$$

Коэффициент линейного расширения стали 09Г2С при $t = 250\text{-}300 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\alpha_{\phi} := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Эффективная ширина плоской прокладки

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\Pi} & \text{if } b_{\Pi} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \sqrt{b_{\Pi}}, 1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.44)$$

$$b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \sqrt{b_{\Pi}}, 1) \quad \text{otherwise} \quad (2.45)$$

$$b_0 = 17 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки:

$m = 2.5$ – прокладочный коэффициент

$q_{\text{обж}} = 20 \text{ МПа}$ – удельное давление обжатия прокладки

$K_{\text{обж}} = 0.9$ – коэффициент обжатия прокладки

$E_n = 200 \text{ МПа}$ – условный модуль сжатия прокладки

Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения

Усилие, необходимое для смятия прокладки находим по формуле:

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| = 3.672 \times 10^4 \text{ Н} \quad (2.46)$$

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

$$R_{\text{п}} := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$R_{\text{п}} = 7.343 \times 10^4 \text{ Н} \quad (2.47)$$

Усилие в болтах (шпильках) фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях

Площадь поперечного сечения болтов (шпилек):

$$f_{\text{б}} = 324 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}} = 6.48 \times 10^3 \text{ мм}^2 \quad (2.48)$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{\text{д}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P = 2.376 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.49)$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{\text{FM}} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right| \right) = 0 \text{ Н} \quad (2.50)$$

Найдем податливость прокладки:

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}} = 2.604 \times 10^{-7} \text{ мм/Н} \quad (2.51)$$

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

$$L_{60} := 70 \text{ мм} \quad (2.52)$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости по формуле:

$$L_{6} := \begin{cases} L_{60} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{60} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases} \quad (2.53)$$

$$L_{6} = 76.72 \text{ мм} \quad (2.54)$$

Податливость шпилек рассчитывается по формуле:

$$y_{6} := \frac{L_{6}}{E_{206} \cdot A_{6}} = 5.431 \times 10^{-8} \text{ мм/Н} \quad (2.55)$$

Расчетные параметры фланцев

- параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 70.711 \text{ мм} \quad (2.56)$$

- отношение наружного диаметра фланца к внутреннему:

$$K := \frac{D_{\text{н}}}{D} = 1.34 \quad (2.57)$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.779 \quad (2.58)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 7.467 \quad (2.59)$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 6.855 \quad (2.60)$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 3.514 \quad (2.61)$$

- коэффициенты $\beta_F = 0.91$ $\beta_V = 0.55$ $f = 1$ ЫМИ ВСТЫК
 фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами и свободными фланцами

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

- коэффициент λ

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 1.157 \quad (2.62)$$

Угловая податливость фланцев

Угловая податливость фланцев при затяжке

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_1)^2} = 7.797 \times 10^{-11} \quad (2.63)$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом, считается по формуле:

$$y_{\Phi H} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} = 7.759 \times 10^{-11} \quad (2.64)$$

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

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] = 1 \quad (2.65)$$

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

$$b := 0.5(D_{\text{б}} - D_{\text{сп}}) = 35 \text{ мм} \quad (2.66)$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

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

Эквивалентная толщина плоских фланцев

$$S_{\text{э}} := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} \cdot \frac{E_{206}}{E_{\text{б}}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 1.803 \times 10^6 \quad (2.67)$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e \cdot y_{\text{ф}} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}}} = 0.701 \quad (2.68)$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_{\text{б}} + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b^2} = 0.45 \quad (2.69)$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20) - 2\alpha_{\text{б}} \cdot h \cdot (t_{\text{б}} - 20)] = -3.061 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.70)$$

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

$$P_{\text{б1}} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_t \end{array} \right] \quad (2.71)$$

$$P_{\text{б1}} = 5.46 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.72)$$

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

$$P_{\text{б2}} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot \sigma_{20\text{б}}) = 4.751 \times 10^5 \text{ Н} \quad (2.73)$$

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

$$P_{\bar{6}M} := \max(P_{\bar{6}1}, P_{\bar{6}2}) = 5.46 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad (2.74)$$

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

$$P_{\bar{6}p} := P_{\bar{6}M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ P_{\bar{6}p} = 3.11 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad (2.75)$$

$$(2.76)$$

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках)

- при затяжке:

$$\sigma_{\bar{6}1} := \frac{P_{\bar{6}M}}{A_{\bar{6}}} = 84.26 \quad \text{МПа} \quad (2.77)$$

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{\bar{6}2} := \frac{P_{\bar{6}p}}{A_{\bar{6}}} = 47.997 \quad \text{МПа} \quad (2.78)$$

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

$$Us1_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

Удельное давление на прокладку находим по формуле:

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{сП} \cdot b_{П}} = 15.8 \quad \text{МПа} \quad (2.79)$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$Us1_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1_2 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$$

Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b = 1.911 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм} \quad (2.80)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_P := C_F \cdot \max[P_{6P} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e] = 1.153 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм} \quad (2.81)$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S1 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} = 124.699 \text{ МПа} \quad (2.81)$$

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

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 60.603 \text{ МПа} \quad (2.82)$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 78.182 \text{ МПа} \quad (2.83)$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S1 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} = 75.246 \text{ МПа} \quad (2.84)$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0MP} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S1) \cdot (S1 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S1) \cdot (S1 - c_o)} \right]$$

$$\sigma_{0MP} = 8.555 \text{ МПа}$$

(2.85)

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

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 36.569 \text{ МПа}$$

(2.86)

- окружное напряжение:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 47.177 \text{ МПа}$$

(2.87)

Проверка условий статической прочности фланцев

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\left(\left(\left| \sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Tp} \right| \right) \right) \right) \tag{2.88}$$

$$\left(\left(\left| \sigma_{0p} - \sigma_{0MP} + \sigma_{Rp} \right| \right) \right) \tag{2.89}$$

$$\left(\left(\left| \sigma_{0p} + \sigma_{0MP} \right| \right) \right) \tag{2.90}$$

$$\sigma_{3max} := \max \left(\left| \sigma_{0M} + \sigma_{RM} \right|, \left| \sigma_{0M} + \sigma_{TM} \right| \right) \tag{2.91}$$

$K_T = 1.3$ при расчете с учетом стесненности температурных деформаций. При расчете без учета стесненности температурных деформаций $K_T = 1$.

$$U_{sl_3} := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \sigma_{3max} < K_T \cdot \sigma_{20} \wedge \sigma_{Pmax} < K_T \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl_3} =$ "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

$$\sigma_{3max} = 202.881 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{20} = 237.9 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Pmax} = 113.868 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 182.65 \text{ МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

$$\Theta := M_p \cdot y_f \cdot \frac{E_{20}}{E} = 1.112 \times 10^{-3} \quad (2.92)$$

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

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

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

Аналогично проводим расчет для остальных фланцевых соединений.

В результате проведенных расчетов определили геометрические размеры фланцевых соединений, необходимых для эксплуатации аппарата. Обеспечили статическую прочность и герметичность всех фланцевых соединений.

Результаты запишем в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Результаты расчета фланцевых соединений

	Ввод исходно й смеси	Ввод флегмы	Вывод паров, кубового остатка	Люк-лаз
Внутренний диаметр фланца, мм	500	80	150	500
Наружный диаметр фланца, мм	670	195	280	670
Диаметр болтовой окружности, мм	620	160	240	620
Диаметр прокладки, мм	550	130	204	550
Толщина фланца, мм	30	16	20	30
Диаметр болта, мм	24	16	20	24
Площадь поперечного сечения болта, мм ²	324	144	225	324
Количество болтов	20	4	8	20

2.6 Механический расчет тарелки

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, [15, с.100].

Определим вес самой тарелки

Площадь тарелки рассчитаем по формуле:

$$F := \frac{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2}{4} = 2.545 \text{ м}^2 \quad (2.93)$$

Отверстия для установки клапанов составляют примерно 15-20% площади диска тарелки. Примем суммарную площадь всех отверстий:

$$F_1 := 0.18 \cdot F = 0.458 \text{ м}^2 \quad (2.94)$$

Вес диска тарелки найдем по формуле:

$$G_{\text{д}} := (F - F_1) \cdot s_{\text{диск}} \cdot \gamma = 1.648 \times 10^{-4} \text{ МН} \quad (2.95)$$

где $s_{\text{диск}}=0,01$ м – толщина диска, принимаемая в первом приближении;

$\gamma = 0,079$ МН/м³ – удельный вес стали.

Вес одного клапана примем равным $G_{\text{к}} := 10^{-6}$ МН

Число клапанов $n = 180$

Площадь отверстия под клапан найдем по формуле:

$$f := \frac{\pi \cdot 0.04^2}{4} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (2.96)$$

Находим вес тарелки:

$$G_{\text{т}} := G_{\text{д}} + n \cdot G_{\text{к}} = 3.448 \times 10^{-4} \text{ МН} \quad (2.97)$$

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

$$G_B := 0.01 \cdot 0.04 \cdot (F - n \cdot f) = 9.274 \times 10^{-4} \text{ МН} \quad (2.98)$$

Таким образом, общая нагрузка, на которую рассчитывают тарелку:

$$G := G_T + G_B = 1.272 \times 10^{-3} \text{ МН} \quad (2.99)$$

$$P_{\text{распр}} := \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D_{\text{вн}}} = 8.999 \times 10^{-4} \quad (2.100)$$

Толщину диска тарелки определим по формуле:

$$s_{\text{диска}} := 0.56 \cdot D_{\text{вн}} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{распр}}}{\sigma_{\text{тар}}}} + \frac{c}{1000} = 5.461 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (2.101)$$

В первом приближении примем толщину тарелки равной $s = 6$ мм.

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

$$\omega := 4.08 \cdot \frac{P_{\text{распр}} \cdot \left(\frac{D_{\text{вн}}}{2}\right)^4}{64 \cdot N} = 1.1 \times 10^{-11} \text{ м} \quad (2.102)$$

где N – цилиндрическая жесткость

$$N := \frac{E \cdot (s_{\text{диска}})^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = 3.422 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.103)$$

$$\frac{1}{2000} \cdot D_{\text{вн}} = 0.9$$

Проверим необходимость установки каркаса:

$$U_{s18} := \begin{cases} \text{"Каркас не нужен"} & \text{if } \omega < \frac{1}{2000} \cdot D_{BH} \\ \text{"Каркас необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{s18} = \text{"Каркас не нужен"}$$

Так как будем использовать секции тарелки с отгибом, что придаст прочность конструкции, уменьшим первоначальный размер. Примем окончательную толщину $s = 6$ мм

2.7 Определение расчетных усилий от ветровых нагрузок

Расчет ведем по ГОСТ Р 51273 – 99, [11].

Данные:

$H_k := 23$	Высота колонны, м
$q_0 := 450$	Район установки - III:
$D_1 := 1.8$	Диаметр верхней части колонны, м
$D_2 := 1.8$	Диаметр нижней части колонны, м
$D_3 := 1.8$	Диаметр опоры, м
$H_{из} := 23$	Высота изоляции, м
$\gamma_{из} := 4000$	Удельный вес, Н/м ³
$n_T := 36$	Число тарелок

Толщина:

$S_1 := 0.01$	Стенки в верхней части колонны, м
$S_2 := 0.01$	Стенки в нижней части колонны, м
$S_0 := 0.01$	Стенки опоры, м
$S_{из} := 0.1$	Изоляции, м
$F_d := 2.3$	Площадь внутренней поверхности эллиптического днища, м ²
$V_d := 0.4191$	Объем эллиптического днища, м ³
$G_{л} := 120$	Вес люка, кг
$C_f := 6 \cdot 10^7$	Коэффициент неравномерности сжатия грунта, Н/м ³

Разбиваем аппарат на участки высотой $h \sim 10$ м, как показано на рисунке 7.

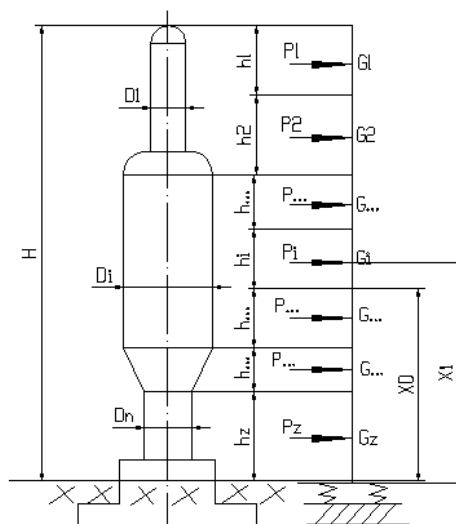


Рисунок 7 – Расчетная схема аппарата

Высоту опоры примем равной 2,5 м исходя из условий эксплуатации.

Высота участка № 1:	$H_1 := 6$	м
Высота участка № 2:	$H_2 := 6$	м
Высота участка № 3:	$H_3 := 6$	м
Высота участка № 4:	$H_4 := 5$	м
Высота участка № 5:	$H_5 := 2.5$	

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

Участок № 1:	$x_1 := 21$	м
Участок № 2:	$x_2 := 16$	м
Участок № 3:	$x_3 := 11$	м
Участок № 4:	$x_4 := 5$	м
Участок № 5:	$x_5 := 1.25$	

Количество тарелок на каждом из участков:

Участок № 1:	$n_1 := 10$
Участок № 2:	$n_2 := 10$
Участок № 3:	$n_3 := 9$
Участок № 4:	$n_4 := 7$

Высоты расчетных сечений назначим из расположения люков-лазов, так как они имеют наибольший диаметр.

$$x_0 := \begin{pmatrix} 21 \\ 16 \\ 11 \\ 5 \\ 1.25 \end{pmatrix}$$

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

- 1 м³ стальных площадок – 100 кг;
- 1 погонный метр ограждения лестниц – 15 кг;
- 1 погонный метр лестниц – 37 кг;
- 1 м² тарелки, включая жидкость на ней $G_{т.1кв.м}$ - 120кг.

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

Первый участок включает в себя обечайку, крышку, 6 тарелок, площадку обслуживания и воду при гидроиспытании.

Вес обечайки найдем по формуле:

$$G_{o1} := 10 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot S_1 \cdot H_1 \cdot \gamma_{ст} = 26668.3517 \quad (2.104)$$

Вес крышки, Н:

$$G_{к1} := 10 \cdot F_d \cdot S_1 \cdot \gamma_{ст} = 1807.8 \quad (2.105)$$

Вес тарелок, Н:

$$G_{т1} := 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot G_{т.1кв.м} \cdot n_1 = 30536.2806 \quad (2.106)$$

Вес обслуживающей площадки, Н:

$$G_{пл1} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{н.пл}^2 - D_1^2) \cdot h_{пл} \cdot 1000 = 6534.5127 \quad (2.107)$$

Вес воды, Н:

$$G_{в1} := 10 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot H_1 \cdot \gamma_{в} = 152681.403 \quad (2.108)$$

Тогда вес первого участка составит, Н:

$$G_{Г1} := G_{о1} + G_{к1} + G_{Г1} + G_{пл1} + G_{в1} = 218228.348 \quad (2.109)$$

Аналогично считаем массу остальных участков. В итоге получаем:

Вес второго участка, Н:

$$G_{Г2} = 216420.548$$

Вес третьего участка, Н:

$$G_{Г3} = 213366.9199$$

Вес четвертого участка, Н:

$$G_{Г4} = 188677.7716$$

Вес пятого участка, Н:

$$G_{о6} = 11111.8132$$

Таким образом, общий вес аппарата при гидроиспытании составит, Н:

$$G_{Г.мах} := G_{Г1} + G_{Г2} + G_{Г3} + G_{Г4} + G_{Г5} = 847805.4007 \quad (2.110)$$

Определение периода собственных колебаний

Период основного тона собственных колебаний аппарата постоянного сечения с приблизительно равномерно распределенной по высоте аппарата массой следует определять по формуле:

$$T_0 := 1.8 \cdot H_k \cdot \sqrt{\frac{G_{r.max} \cdot H_k}{g} \cdot \frac{1}{E \cdot I_1}} = 1.0299 \quad (2.111)$$

где I – момент инерции верхнего металлического сечения аппарата относительно оси, m^4

E – модуль упругости стали 09Г2С – $1,73 \cdot 10^{11}$ Па

Найдем момент инерции по формуле:

$$I_1 := \pi \cdot \frac{(D_1 + S_1 - c)^3 \cdot (S_1 - c)}{8} = 0.0186 \quad (2.112)$$

Определение расчетного изгибающего момента от действия ветровых нагрузок

Определение статической составляющей.

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

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки на середине i -го участка, Н/м²:

$$q_i := q_0 \cdot \Theta_i \cdot K \quad (2.113)$$

где K – аэродинамический коэффициент, для круглых аппаратов равен 0,7;

q_0 – нормативное значение ветрового давления;

Θ - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте аппарата

$$\Theta_i := \begin{cases} \left(\frac{x_i}{10}\right)^{0.32} & \text{if } x_i > 10 \\ 1 & \text{if } x_i \leq 10 \end{cases} \quad (2.114)$$

В итоге получаем:

$\Theta_j =$

1.268
1.1623
1.031
1
1

$q_i =$

399.4116
366.1246
324.7553
315
315

В итоге получаем:

Тогда пульсационная составляющая ветровой нагрузки на каждом участке будет равна, H :

$$P_{st_i} := q_i \cdot D_{H_i} \cdot H_i \quad (2.115)$$

где D_H – наружный диаметр по участкам, м.

$$D_{H1} := D_1 + 2 \cdot S_1 + 2 \cdot S_H \quad D_{H1} = 2.02$$

$$D_{H2} := D_1 + 2 \cdot S_1 + 2 \cdot S_H \quad D_{H2} = 2.02$$

$$D_{H3} := D_2 + 2 \cdot S_2 + 2 \cdot S_H \quad D_{H3} = 2.02$$

$$D_{H4} := D_2 + 2 \cdot S_2 + 2 \cdot S_H \quad D_{H4} = 2.02$$

$$D_{H5} := D_2 + 2 \cdot S_2 \quad D_{H5} = 1.82$$

H_i – высота участка

Подставив значения в формулу (116) получим:

$P_{st_1} =$

4840.8692
4437.4305
3936.0339
3181.5
1433.25

Определение коэффициентов для расчета средней составляющей:

$$\underline{\varepsilon} := \frac{T_r \cdot \sqrt{q_0}}{840} = 0.026 \quad (2.116)$$

С помощью программы MathCAD определяем коэффициент динамичности при ветровой нагрузке:

```

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

```

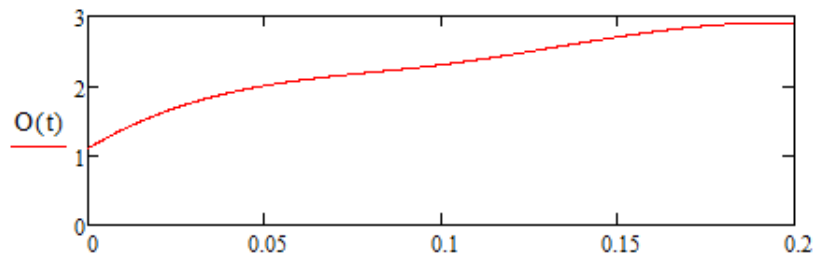


Рисунок 8 – коэффициент ξ

$$O(\varepsilon) = 1.7015$$

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

$$\xi = 1.7015$$

Коэффициент пульсации скоростного напора для середины участка :

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

0.5328
0.5565
0.5909
0.6
0.6

(2.117)

Приведенное относительное ускорение центра тяжести i -го участка:

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

$\eta_{r_i} =$
0.0154
0.0097
0.0051
0.0012
0.0002

(2.118)

где α_i - относительно перемещение центров тяжести участков,
 $1/H^*M$:

$$\alpha := \gamma \cdot \frac{H_k}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \beta = \begin{pmatrix} 2.0752 \times 10^{-9} \\ 1.298 \times 10^{-9} \\ 6.8123 \times 10^{-10} \\ 1.6405 \times 10^{-10} \\ 3.27 \times 10^{-11} \end{pmatrix}$$

(2.119)

Безразмерный коэффициент γ найдем по формуле:

$$\gamma := 2 \cdot \Delta \cdot \left(\frac{h_1}{H_k} \right)^3 = 0.6667$$

(2.120)

$h_1=21$ м – высота участка колонны переменного сечения;

безразмерный коэффициент Δ :

$$\Delta := \frac{1}{3} + \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{h_2}{h_1} \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2 + \frac{h_2}{h_1} + 1 \right] = 0.4708 \quad (2.121)$$

$h_2=2.5$ м – высота участка колонны переменного сечения.

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

$$P_{r.dyn_i} := \nu \cdot G_{r_i} \cdot \xi \cdot \eta_{r_i} \quad (2.122)$$

$$P_{r.dyn_i} =$$

4014.8356
2490.3783
1288.6183
274.407
3.2214

Ветровая нагрузка в условиях гидроиспытаний

Ветровая нагрузка на i -м участке, Н:

$$P_{r_i} := P_{st_i} + P_{r.dyn_i}$$

$$P_{r_i} =$$

8855.7048
6927.8088
5224.6522
3455.907
1436.4714

$$(2.123)$$

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)

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

```

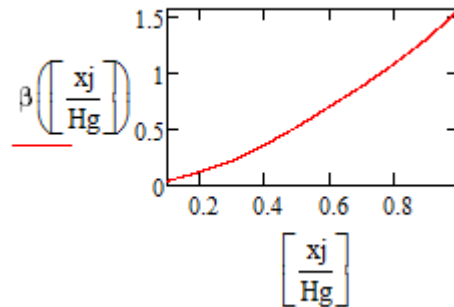


Рисунок 9 – коэффициент x_j

Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте x_0 от действия ветровой нагрузки на обслуживающую площадку i , Н*м:

$$M_{vj} := K \cdot q_0 \cdot \Theta_j \cdot (x_{j1} - x_0) \cdot (1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_j \cdot m_j) \cdot \sum_{j=0}^4 A_j \quad (2.124)$$

где A_j – площадь обслуживающих площадок, м²: 7,536

Получаем:

$$ss := K \cdot q_0 \cdot \Theta_j = \begin{pmatrix} 399.4116 \\ 366.1246 \\ 324.7553 \\ 315 \\ 315 \end{pmatrix} \quad gg := (x_j - x_0) \cdot (1 + 0.75 \xi \cdot \chi_j \cdot m_j) \cdot \sum_{j=0}^4 A_j$$

$$M_{vj} := ss \cdot gg = \begin{pmatrix} -112912.4101 \\ -103502.2755 \\ -91807.2889 \\ -89049.5037 \\ -89049.5037 \end{pmatrix}$$

Изгибающий момент в расчетном сечении на высоте x_0 , H^*M :

$$M_{v1_n} := \sum_{i=0}^n [P_{\Gamma_i} \cdot (x_i - x_{0_i})] + \sum_{j=0}^4 M_{vj} \quad (2.125)$$

$$M_{v1_n} =$$

-481893.1294
-486742.5956
-494579.5739
-501836.9786
-501836.9786

Аналогично находятся изгибающие моменты для рабочих условий и условий монтажа.

Результаты занесем в таблицу 2.3

Таблица 2.3

Изгибающие моменты от ветровой нагрузки

Высота расчетного сечения, м	Изгибающий момент в рабочих условиях, Н*м	Изгибающий момент в условиях гидроиспытаний, Н*мм	Изгибающий момент в условиях монтажа, Н*мм
21	-4.818e5	-481893.1294	-4.818e5
16	-4.865e5	-486742.5956	-4.818e5
11	-4.941e5	-494579.5739	-4.865e5
5	-5.014e5	-501836.9786	-5.013e5
1,25	-5.014e5	-501836.9786	-5.013e5

Видим, что наибольший момент приходится на сечение, где располагаются отверстия в опорной обечайке при условиях гидроиспытания, когда вес аппарата максимальный. Исходя из этого, целесообразно провести расчет на прочность аппарат колонного типа при данных условиях.

Расчету на сейсмическое воздействие подлежат аппараты, предназначенные для установки в районах с сейсмичностью 7 и более баллов по шкале Рихтера.

Район расположения нашего аппарата имеет сейсмичность 5 баллов, следовательно, расчету на сейсмическое воздействие наш аппарат не подлежит.

2.8 Расчет на прочность и устойчивость

Расчет ведем по ГОСТ Р 51274 – 99, [12].

Данные:

Внутреннее избыточное давление, Па:	$p := 0.72 \cdot 10^6$
Допускаемое напряжение для корпуса колонны, Па:	$\sigma_{дК} := 154 \cdot 10^6$
Допускаемое напряжение для опорной обечайки, Па:	$\sigma_{д0} := 184 \cdot 10^6$
Допускаемое напряжение в анкерных болтах, Па:	$\sigma_{дВ} := 120 \cdot 10^6$
Допускаемое напряжение бетона на сжатие, Па:	$\sigma_{дбет} := 30 \cdot 10^6$
Толщина сварного шва, м	$a_1 := 0.01$
Толщина сварного шва в месте приварки опорной обечайки к нижнему кольцу, м.:	$a_2 := 0.01$
Исполнительная толщина стенки опорной обечайки, м.:	$s_3 := 0.025$
Исполнительная толщина стенки самой нижней обечайки колонны, м.:	$s_{но} := 0.025$
Начальный внутренний диаметр анкерных болтов, м.:	$d_{2H} := 0.064$
Диаметр колонны в сечении соединения с опорной обечайкой, м.:	$D_K := 1.8$
Диаметр опорной обечайки, м.:	$D_{op} := 2.4$
Ширина верхнего опорного элемента, м.:	$b_5 := 0.15$
Минимальное расстояние между двумя смежными ребрами, м.:	$b_6 := 0.16$
Диаметр окружности вписанной в шестигранник анкерного болта, м.:	$e_1 := 0.014$
Расстояние между анкерным болтом и опорной обечайкой, м.:	$e_2 := 0.09$
Число анкерных болтов, м.:	$\underline{\underline{n}} := 16$
Высота опорного узла, м.:	$h_1 := 0.3$
Площадь поперечного сечения анкерного болта, м ² .:	$A_{\sigma} := 0.0005$
Внутренний диаметр опорной обечайки, м.:	$D_3 := 2.35$
Диаметр окружности анкерных болтов, м.:	$D_4 := 2.58$

Расчет корпуса аппарата

При расчете аппарата проверяют следующие сечения:

- поперечное сечение опорной обечайки в месте присоединения к корпусу (сечение Г-Г, рисунок 11)
- поперечное сечение опорной обечайки в местах расположения отверстий (сечение Д-Д, рисунок 11)
- сечение опорной обечайки в месте присоединения нижнего опорного кольца (сечение Е-Е, рисунок 11)

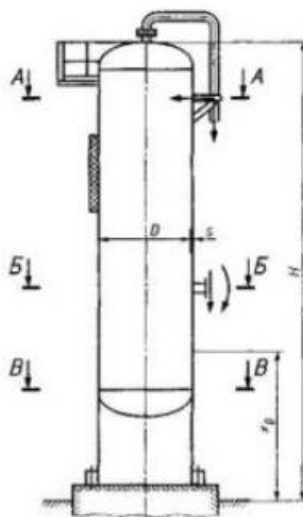


Рисунок 10 – Расчетные сечения корпуса аппарата

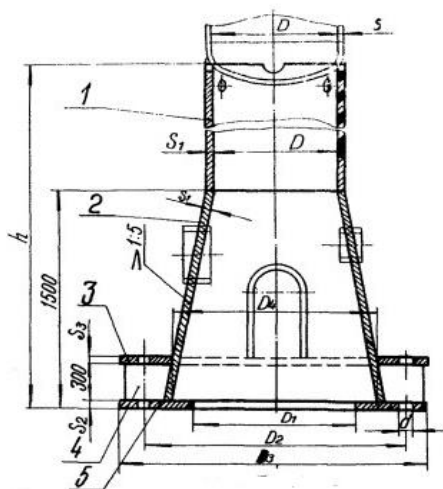


Рисунок 11 – Расчетные сечения опорной обечайки

По таблице 2.4 определяем действующие на аппарат нагрузки, необходимые для расчета.

Таблица 2.4

Сочетание нагрузок

Условия	Расчетное давление p , МПа (кгс/см ²)	Осевое сжимающее усилие F , Н (кгс)	Расчетный изгибающий момент M , Н × мм (кгс × см)
Рабочее условие	p_1	$F_1 = G_1$	$M_1 = M_{G1} + M_{v1}$ Для сейсмических районов принимают большее из двух значений: $M_1 = M_{G1} + M_{v1}$ $M_1 = M_{G1} + M_{R1}$
Условие испытания	p_2	$F_2 = G_2$	$M_2 = M_{G2} + 0,6M_{v2}$
Условие монтажа	0	$F_3 = G_3$	$M_3 = M_{G3} + M_{v3}$ Для анкерных болтов принимают большее из двух значений: $M_3 = M_{G3} + M_{v3}$ $M_3 = M_{G3} + M_{R3}$
		Для анкерных болтов $F_3 = G_4$	

Расчет напряжений для рабочих условий.

Продольные напряжения рассчитывают по формуле:

$$\sigma_{x1_i} := \frac{p_1 \cdot (D_{1_i} + s_{1_i})}{4 \cdot (s_{1_i} - c)} - \frac{F_1}{\pi \cdot D_{1_i} \cdot (s_{1_i} - c)} + \frac{4 \cdot M_{1_i}}{\pi \cdot (D_{1_i})^2 \cdot (s_{1_i} - c)} \quad (2.126)$$

где $F_1 := G_{p.max} = 242900$ - осевое сжимающее усилие, Н;

$M_{1_i} := \max(|M_{G1} + M_{v1_i}|, M_{G1})$ - расчетный изгибающий момент, Н*м

$$M_{1_i} = \begin{pmatrix} 481800 \\ 486700 \\ 494500 \\ 501800 \\ 501800 \end{pmatrix} \sigma_{x1_i} = \begin{array}{|c|} \hline 5.902 \cdot 10^7 \\ \hline 5.926 \cdot 10^7 \\ \hline 5.965 \cdot 10^7 \\ \hline 6.001 \cdot 10^7 \\ \hline 6.001 \cdot 10^7 \\ \hline \end{array}$$

, Па

Кольцевые напряжения находим по формуле:

$$\sigma_{y_i} := \frac{p_1 \cdot (D_{1_i} - s_{1_i})}{2 \cdot (s_{1_i} - c)}$$

(2.127)

$$\sigma_{y_i} =$$

8.055 · 10 ⁷
8.055 · 10 ⁷
8.055 · 10 ⁷
8.055 · 10 ⁷
8.055 · 10 ⁷

, Па

Эквивалентные напряжения для расчетных сечений, Па:

$$\sigma_{E1_i} := \sqrt{\left(\sigma_{x1_i}\right)^2 - \sigma_{x1_i} \cdot \sigma_{y_i} \cdot \frac{\Phi_{T_i}}{\Phi_{P_i}} + \left(\sigma_{y_i} \cdot \frac{\Phi_{T_i}}{\Phi_{P_i}}\right)^2}$$

$$\sigma_{E1_i} =$$

7.223 · 10 ⁷
7.23 · 10 ⁷
7.24 · 10 ⁷
7.249 · 10 ⁷
7.249 · 10 ⁷

(2.128)

где $\Phi_T = 1$ – коэффициент прочности кольцевого сварного шва;

$\Phi_P = 1$ – коэффициент прочности продольного сварного шва.

Проверим выполнение условия прочности по формуле:

$$\max\left(\left(\left|\sigma_{x1_i}\right| \quad \sigma_{E1_i}\right)\right) \leq \sigma_{дК} \cdot \phi_{T_i} \quad (2.129)$$

$$\sigma_{дК} \cdot \phi_{T_i} =$$

$1.54 \cdot 10^8$
$1.54 \cdot 10^8$
$1.54 \cdot 10^8$
$1.54 \cdot 10^8$
$1.54 \cdot 10^8$

$$I := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \max(\sigma_{x1}, \sigma_{E1}) \leq \min(\sigma_{дК} \cdot \phi_T) \\ \text{"Условие прочности не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Проверка устойчивости аппаратов, работающих под внутренним избыточным давлением, для условий испытания следует проводить по формуле:

$$\frac{F_2}{F_{д.2}} + \frac{M_2}{M_{д2}} \leq 1.0 \quad (2.130)$$

где $F_{д2}$ - допускаемое осевое сжимающее усилие, определяется по формуле:

$$F_{д.2} := \frac{F_{дП2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{дП2}}{F_{дЕ2}}\right)^2}} \quad (2.131)$$

$F_{дП2}$ – допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности

$$F_{дП} := \pi \cdot (D_3 + s_3 - c) \cdot (s_3 - c) \cdot \sigma_{д0} = 8.361 \times 10^6 \text{ Па} \quad (2.129)$$

$F_{дЕ3}$ – допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости

$$F_{дЕ} := \min\left(\left(F_{дЕ1} \quad F_{дЕ2}\right)\right)$$

$F_{дЕ1}$ – допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$F_{дЕ1} := \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot D_3^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_3 - c)}{D_3} \right]^{2.5} = 1.185 \times 10^7 \text{ Па} \quad (2.132)$$

$F_{дЕ2}$ – допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости

$$F_{дЕ2} := \frac{\pi \cdot (D_1 + s_3 - c) \cdot (s_3 - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 8.084 \text{ Па} \cdot 10^{10} \quad (2.133)$$

Гибкость находим по формуле:

$$\lambda := \frac{2.85 \cdot l_{пр}}{D_1 + s_3 - c} = 1,576$$

Подставляя в формулу (2.127) значения, получим:

$$F_{д1} := \frac{F_{дП}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{дП}}{F_{дЕ}} \right)^2}} = 6.831 \times 10^6 \text{ Н} \quad (2.134)$$

$M_{д2}$ – допускаемый изгибающий момент

$$M_{д1} := \frac{\pi}{4} \cdot D_3 \cdot (D_3 + s_3 - c) \cdot (s_3 - c) \cdot \sigma_{д0} \cdot \phi_3 = 3.311 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.135)$$

В итоге получаем:

$$\frac{F_1}{\Psi_1 \cdot F_{д1}} + \frac{M_{15} + F_1 \cdot \Psi_3 \cdot D_3}{\Psi_2 \cdot M_{д1}} = 0.097$$

0,097 < 1 – значит, условие устойчивости для обечайки выполняется.

Расчет опорной обечайки

Проверку прочности сварного шва, соединяющего корпус колонны с опорной обечайкой (сечение Г-Г по рис.11) следует проводить по формуле:

$$\frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot a_1} \cdot \left(\frac{4 \cdot |M_{v23}|}{D_3} + F_1 \right) \leq 0.8 \cdot \min((\sigma_{д0} \ \sigma_{дК})) \quad (2.136)$$

$$0.8 \cdot \min((\sigma_{д0} \ \sigma_{дК})) = 1.232 \times 10^8$$

$$\frac{1}{\pi \cdot D_{14} \cdot a_1} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_{13}}{D_3} + F_1 \right) = 2.401 \times 10^7$$

`spr1 := "Условие прочности не выполняется"`

`spr2 := "Условие прочности выполняется"`

`I :=`
$$\begin{cases} \text{spr1} \\ \text{spr2} \text{ if } \frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot a_1} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_{13}}{D_3} + F_1 \right) \leq \phi_s \cdot \min((\sigma_{д0} \ \sigma_{дК})) \end{cases}$$

`I = "Условие прочности выполняется"`

Проверку устойчивости опорной обечайки в зоне отверстия (сечение Д-Д по рис 11.) следует проводить по формуле:

$$\frac{F_Y}{\psi_1 \cdot F_{д}} + \frac{M_Y + F_Y \cdot \psi_3 \cdot D_3}{\psi_2 \cdot M_{д}} \leq 1.0$$

(2.137)

где $\Psi_1 = 1$ - коэффициенты, определяемы по рис.12,13
 $\Psi_2 = 0.91$
 $\Psi_3 = 0.25$

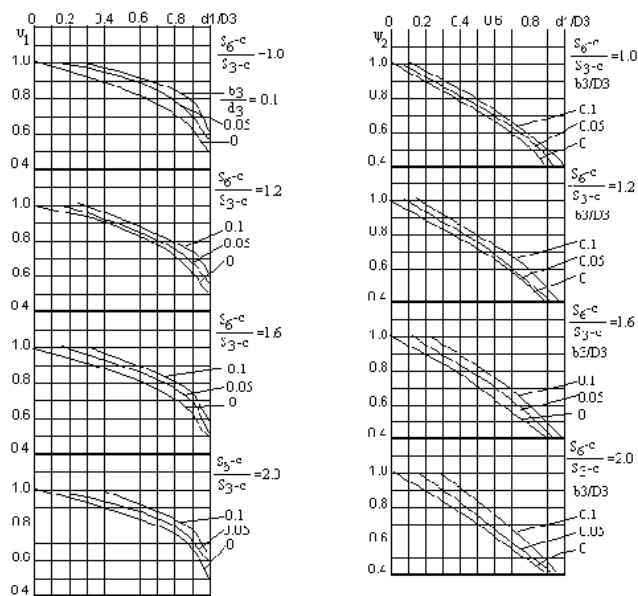


Рисунок 12 – Коэффициент ψ_1, ψ_2

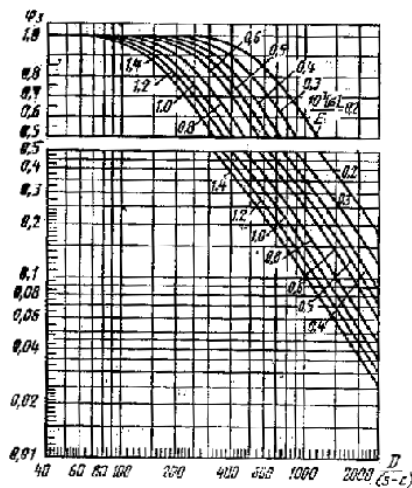


Рисунок 13 – Коэффициент ψ_3

$$\frac{F_1}{\Psi_1 \cdot F_{д1}} + \frac{M_{15} + F_1 \cdot \Psi_3 \cdot D_3}{\Psi_2 \cdot M_{д1}} = 0.097$$

0,097 < 1 – условие устойчивости опорной обечайки в зоне отверстий выполняется.

2.9 Расчет элементов опорного узла

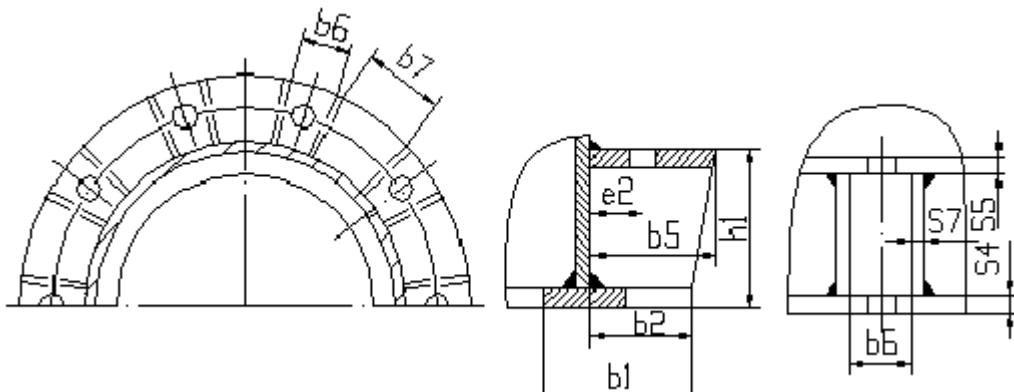


Рисунок 13 – Опорный узел

Ширину опорного кольца b_1 рассчитывают по формуле:

$$b_{1.R} := \frac{1}{\pi \cdot D_4 \cdot \sigma_{\text{дбет}}} \cdot \left(\frac{4 \cdot |M_{v24}|}{D_4} + F_1 \right) = 0.011$$

$$b_{.1} := \begin{cases} \text{"Ширина } b_1 \text{ не достаточна, измените ее в исходных данных"} \\ b_1 \text{ if } b_{1.R} \leq b_1 \end{cases}$$

$$b_1 = 0.25 \text{ м}$$

(2.138)

Выступающая ширина нижнего опорного кольца b_2 :

$$b_{.2} := \text{round} \left[\left[\frac{(2 \cdot d_{2H} + 0.03) + \frac{2}{3} \cdot b_1}{2} \right], 3 \right]$$

$$b_{.2} = 0.128 \text{ м}$$

(2.139)

Напряжение сжатия в бетоне следует рассчитывать по формуле:

$$\sigma_{.бет} := \sigma_{\text{дбет}} \cdot \frac{b_{1R}}{b_1} = 3.771 \times 10^5 \text{ Па}$$

(2.140)

Условие прочности сварного шва в месте присоединения нижнего опорного кольца:

$$\max \left[\frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot 2 \cdot a_2} \cdot \left(\frac{4 \cdot |M_{v24}|}{D_3} - F_2 \right) \right] = 2.354 \times 10^6 \quad (2.141)$$

spr11 := "Условие прочности сварного шва не выполняется"

spr22 := "Условие прочности сварного шва выполняется"

$$I_{..} := \begin{cases} \text{spr11} \\ \text{spr22 if } \max \left[\frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot 2 \cdot a_2} \cdot \left(\frac{4 \cdot |M_{v24}|}{D_3} - F_2 \right) \right] \leq 0.6 \cdot \sigma_{д0} \end{cases}$$

I_{..} = "Условие прочности сварного шва выполняется"

Толщина нижнего опорного кольца:

$$s_{.4} := \max \left(\left(\chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{бет}}{\sigma_{д0}}} + c \quad 1.5 \cdot s_3 \right) \right) \quad s_4 = 0.02 \text{ м.} \quad (2.142)$$

Тс $\chi_1 = 0.985$.него опорного элемента - кольца: где χ_2 - коэффициент

$$\chi_2 := \frac{\sqrt{3 \cdot \left(\frac{b_5}{b_6} \right)}}{\left(\frac{b_5}{b_6} \right)^2 \sqrt{1 - \frac{e_1}{b_6}}} \quad \chi_2 = 1.709 \quad (2.143)$$

где

$$s_{.5} := \max \left(\left(\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_{\sigma} \cdot \sigma_{дВ}}{\sigma_{д0}}} + c \quad 1.5 \cdot s_3 \right) \right) \quad s_5 = 0.02 \text{ м} \quad (2.144)$$

Толщину ребра s_7 найдем по формуле:

$$s_7 := \max \left(\left(\frac{A_\sigma \cdot \sigma_{дВ}}{\chi_3 \cdot b_2 \cdot \sigma_{д0}} + c \cdot 0.4 \cdot s_4 \right) \right) = 8 \times 10^{-3} \quad (2.145)$$

Расчет анкерных болтов

Число анкерных болтов n устанавливают конструктивно, при этом $n=4,6,8,10,12,16$...далее кратно 4.

Внутренний диаметр резьбы анкерных болтов найдем по формуле:

$$d_{болт} := \chi_6 \cdot \sqrt{\frac{|M_{v2_4}| - 0.44 \cdot F_2 \cdot D_6}{n \cdot \sigma_{дВ} \cdot D_6}} = 0.027 \quad (2.146)$$

где χ_6 – коэффициент находится по формуле:

$$\chi_6 := 2.7 - 2 \cdot \frac{F_2 \cdot D_6}{|M_{v2_4}|} + 3.7 \cdot \left(\frac{F_2 \cdot D_6}{|M_{v2_4}|} \right)^2 - 2.5 \cdot \left(\frac{F_2 \cdot D_6}{|M_{v2_4}|} \right)^3 + 0.65 \cdot \left(\frac{F_2 \cdot D_6}{|M_{v2_4}|} \right)^4 = 2.749$$

Принимаем болты М64.

В результате проведенного механического расчета ректификационной колонны непрерывного действия:

- Определили толщину стенки цилиндрической обечайки, эллиптических днищ. Она составила 10 мм;
- Выяснили, что необходимо укрепить отверстия в конической обечайке для штуцера ввода исходного сырья и люка-лаза. Сделали это путем увеличения толщины стенки штуцера;
- Обеспечили прочность и герметичность всех фланцевых соединений, необходимых для эксплуатации аппарата;

- Рассчитали аппарат на прочность и устойчивость от действия ветровых нагрузок. Вычислили геометрические размеры опорного узла. Для устойчивости аппарата требуется 16 анкерных болтов М64.

Глава 3. Социальная ответственность

Введение

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

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

Установка предназначена для разгонки нефти с получением нефтепродуктов:

- бензиновой фракции;
- дизельной фракции;
- мазута.

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

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

Кроме того, сырье и нефтепродукты, а также реагенты являются потенциально электростатически опасными.

3.1 Характеристика токсичных свойств сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства

В производственном процессе используются вредные вещества:

- нефть и нефтепродукты (бензиновые фракции, дизельная фракция, мазут);
- деэмульгатор (Dissolvan 3359 - смесь сшитых блокполимеров окиси этилена/окиси пропилена и оксиэтилированных смол в смеси растворителей);
- ингибитор коррозии (DODIGEN 481 - продукт конденсации полиаминов и алкилкарбоновых кислот в высококипящих углеводородах);
- нейтрализатор (DODICOR 1830 - композиция органических аминов в углеводородном растворителе);
- дымовые газы образующиеся при сжигании топлива в трубчатой печи.

Нефть и нефтепродукты являются смесями углеводородов парафинового, нафтенового и ароматического рядов, близкими по строению и имеющими одинаковую специфику клинических проявлений.

Токсикологическая характеристика нефти и нефтепродуктов проводится с учетом идентификации состава, применительно к веществам с установленными ПДК в рабочей зоне, [16].

Нефтепродукты – бензиновые фракции, дизельная фракция, мазут идентифицируются как «бензин топливный», который входит в перечень веществ, опасных для репродуктивного здоровья человека.

Нефть и нефтепродукты являются веществами однонаправленного действия, для которых должно выполняться условие – сумма отношений фактических концентраций каждого из веществ в воздухе к их ПДК_{р.з.} не должна превышать единицы:

$$\sum \frac{C}{\text{ПДК}_{\text{р.з.}}} \leq 1$$

Деэмульгатор возможно идентифицировать по нафталину.

Ингибитор коррозии и нейтрализатор возможно идентифицировать по ароматическим растворителям (бензол, толуол).

Токсикологическая характеристика используемых в производстве веществ приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Токсикологическая характеристика веществ

№ п/п	Наименование вещества	Предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны, мг/м ³		Класс опасности	Источник информации	Порядковый номер по источнику информации
		ПДК _м	ПДК _{с.с}			
1	2	3	4	5	6	7
1	Нефть	—	10	III	ГН 2.2.5.1313-03	1503
2	Бензин топливный	300	100	IV	ГН 2.2.5.1313-03	252
3	Толуол	150	50	III	ГН 2.2.5.1313-03	1225
4	Нафталин	20	—	IV	ГН 2.2.5.1313-03	1486
5	Дымовые газы в том числе:					
	-азота диоксид	0,2	0,04	II	ГН2.1.6.1338-03	4
	-азота оксид	0,4	0,06	III	ГН2.1.6.1338-03	6
	-углерода оксид	5	3	IV	ГН2.1.6.1338-03	521
	-сажа (углерод)	0,15	0,05	III	ГН2.1.6.1338-03	520
	-серы диоксид	0,5	0,05	III	ГН2.1.6.1338-03	463
	-бенз(а)пирен	-	1*10 ⁻⁶	1	ГН2.1.6.1338-03	48
	-метан			IV	ГН 2.2.5.1313-03	1210

В соответствии с ГН 2.2.5.1313. – 03, [17], в перечень вредных веществ, опасных для репродуктивного здоровья человека входят:

- бензин топливный;
- толуол.

По паспорту безопасности нейтрализатор Dodicor также токсичен в отношении репродуктивности.

Согласно с СанПиН 2.2.0.555-96, [18] эффектом суммации обладают следующие вещества:

- азота диоксид;
- серы диоксид.

Образуя при этом группу суммации: 6204 (азота диоксид, серы диоксид).

3.2 Пожаро-, взрывоопасные свойства веществ применяемых в производстве

Свойства пожаро-, взрывоопасных веществ представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Свойства пожаро -, взрывоопасных веществ

Наименование вещества	Температура вспышки, °С	Температура воспламенения, °С	Температура самовоспламенения, °С	Пределы взрываемости, %
Нефть	-15	-	-	-
Бензиновые фракции	-27÷ -29	-	255-370	0,76 - 5,16
Дизельная фракция	не ниже 35	-	300-310	2,0 - 3,0
Мазут	не ниже 110	-	350	1,4 - 8,0
Дезэмульгатор Dissolvan 3359	28	-	430	1,5 - 10,7
Ингибитор коррозии Dodigen 481	85	-	490	1,0 - 7,0
Нейтрализатор Dodicor 1830	30	-	300	1,0 - 9,5

3.3 Рекомендации по применению взрывоподавляющих веществ

Для предотвращения образования взрывоопасных смесей нефтепродуктов с воздухом при ремонтных работах, опорожнении и заполнении оборудования и т.п., на установке переработки нефти необходимо использовать пар водяной насыщенный и азот, в качестве взрывоподавляющих веществ.

Пар водяной насыщенный рекомендуется применять в следующих случаях:

- для подачи в электродегидратор, в аварийных ситуациях с целью предотвращения образования взрывоопасных смесей;
- для продувки оборудования и трубопроводов, содержащих ЛВЖ и ГЖ, при пуске-остановке производства;
- для подачи в змеевики трубчатой печи и в топку в аварийных ситуациях;
- для создания паровой завесы вокруг трубчатой печи в аварийных ситуациях.

3.4 Возможные источники выделения вредных веществ

Источниками выделения загрязняющих веществ в атмосферу являются:

- неплотности оборудования и арматуры;
- дыхательные трубы емкостей;
- оборудование для сжигания топлива (печь нагрева отбензиненной нефти);
- выхлопные трубы автомашин.

Выбросы от источников выделения вредных веществ подразделяются на организованные и неорганизованные.

Организованные выбросы:

- дымовые трубы печи нагрева отбензиненной нефти;

- вентиляционные выбросы из помещений;
- дыхательные трубы емкостей.

Неорганизованные выбросы:

- от неплотностей оборудования, арматуры, приборов КИП, находящихся вне помещений;
- от выхлопных труб автомашин.

Из источников предприятия в атмосферу поступают загрязняющие вещества:

- пары нефти;
- пары нефтепродуктов, в том числе:
 - легкая бензиновая фракция
 - тяжелая бензиновая фракция
 - бензиновая фракция (бензин)
 - дизельная фракция
 - мазут
- пары реагентов, в том числе:
 - толуол
 - бензол
 - нафталин
- дымовые газы от печи нагрева сырья и факельной системы, в том числе:

3.5 Мероприятия по предотвращению выбросов

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

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

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

3.6 Источники шума и вибрации

Источники инфразвука, ультразвука на предприятии отсутствуют.

В технологическом процессе не используются механизмы, устройства, оборудование, являющиеся источниками повышенной вибрации.

Источниками постоянного производственного шума на предприятии являются:

- насосное оборудование;
- вентиляционное оборудование;
- аппараты воздушного охлаждения

Согласно таблице 1 СН 2.2.4/2.1.8.562-96, [19] предельно допустимый уровень звука для категории напряженности трудового процесса легкой степени с легкой физической нагрузкой – 80 дБА.

Для защиты обслуживающего персонала и окружающей среды от воздействия шума предусмотрены следующие мероприятия:

- вентиляционное оборудование вентсистем установлено на виброизоляторах в помещениях, не имеющих постоянных рабочих мест. Стены помещений являются звукоизолирующими конструкциями;

- Забор и выхлопные трубы вентиляции оснащены шумоглушителями;

- Насосное оборудование имеет конструктивную защиту – блокировки, отключающие насос при кавитации на приеме, что позволяет эксплуатировать оборудование в паспортном режиме.

Для защиты дежурного персонала в зоне обслуживания оборудования с высоким уровнем шума при периодических осмотрах, ремонтных работах предусматривается не только использование средств индивидуальной защиты (противошумов), но и защита по времени пребывания – введение регламентированных перерывов не менее 10 минут в течение 1 часа работы.

Постоянные рабочие места рабочего и дежурного персонала, обслуживающего производство (операторы, дежурные слесари), располагаются в помещениях, удаленных от источников производственного шума. Пребывание дежурного персонала при периодическом осмотре, обслуживании оборудования в зоне воздействия повышенных уровней шума ограничивается временем. Согласно таблице П.7.3 Р.2.2.200605, [20] длительность регламентированного перерыва – 10 минут.

3.7 Возможность накопления зарядов статического электричества, их опасность

На установке ректификации основным источником возникновения статического электричества является перекачка жидких нефтепродуктов с

превышением допустимых норм скорости перекачки. Возможно возникновение статического электричества при сбросе паров нефтепродуктов и газа с повышением норматива скорости истечения, а также от наводки электрического заряда от других источников его образования.

В соответствии с «Правилами по защите от статического электричества в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности» заведомо безопасна скорость не более 1,2 м/с для нефтепродуктов с удельным электрическим сопротивлением более 10^9 Ом-м при транспортировке по трубам диаметром до 200 мм.

Для нефтепродуктов (сырой нефти) с удельным электрическим сопротивлением до 10^9 Ом-м безопасная скорость транспортировки до 5 м/с (по РТМ 6-28-007-78).

В остальных случаях рекомендуется, принимать скорости нефтепродуктов, традиционные в нефтеперерабатывающей отрасли:

- во всасывающих трубопроводах – 0,5 - 0,9 м/с;
- при самотеке – 0,1 - 0,5 м/с;
- пары и газы при небольшом давлении – 5 - 8 м/с;
- пары и газы в шлемовых трубопроводах – до 20 м/с;
- парожидкостная смесь в трансферных трубопроводах – 4 - 7 м/с.

Опасность возникновения статического электричества на поверхности проводника (трубопровод, наливной шланг и т.д.) заключается в возможности образования разряда-искры, последствием которой возможно загорание горючих жидкостей или взрыв смеси паров углеводородов с кислородом воздуха.

Все оборудование, коммуникации и сооружения установки защищено от возникновения опасных зарядов статического электричества надежным их заземлением и применением допустимых скоростей прокачки (истечения) жидкостей в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.018-93, [21] и «Правил защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности», согласно

которым все технологическое оборудование и трубопроводы, на поверхности которых возможно образование статических зарядов, подлежат защите от статического электричества.

На установке предусмотрено обеспечение (перекрытие) молниезащитой всех сооружений в соответствии с РД 34.21.122, [22].

3.8 Рекомендации по обезвреживанию и нейтрализации продуктов производства при разливах и авариях

Оборудование и трубопроводы установленные как на наружной установке, так и в помещениях находятся в отбортовках высотой 150 мм. Предусмотрен сбор проливов и аварийных разливов из отбортовок в ливневую канализацию с последующей отправкой на очистные сооружения.

Незначительные проливы могут убираться с помощью адсорбентов: песка, древесных опилок.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Продукт – нефтепродукты.

Целевой рынок – промышленные предприятия, сельское хозяйство и транспорт, причем доля последнего в использовании жидкого топлива возрастает, что связано с увеличением количества судовых двигателей, работающих на дизельном топливе, быстрыми темпами роста автомобильного и воздушного транспорта. Главным потребителем мазута являются электростанции и теплоэнергоцентралы.

Таблица 4.1

SWOT - анализ нефтеперерабатывающего завода

	<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Внедрение новых высокотехнологичных продуктов высокого качества; 2. Использование новых автоматизированных технологий; 3. Повышение квалификации персонала. 	<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Несвоевременные поставки сырья; 2. Появление новых конкурентов; 3. Большое количество конкурентов;
<p>Сильные стороны:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Выгодное расположение в Сибирском регионе, близость с административным 	<p>Результаты полей «Сильные стороны и возможности» :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. За счет повышения качества продукции 	<p>Результаты полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. За счет качества и увеличения

<p>центром;</p> <p>2. Обеспечение местных жителей рабочими местами;</p> <p>3. Способность развиваться и вводить дополнительные продукты глубокой переработки нефти.</p>	<p>по мировым стандартам увеличим рынок сбыта продуктов;</p> <p>2. За счет увеличения ассортимента продуктов – эффективно продвигать товар на рынке, пользующийся большим спросом, т.к. рядом центр;</p> <p>3. Возможность для местных жителей трудоустроиться на высокотехнологичное производство.</p>	<p>ассортимента нефтепродуктов исключить угрозу появления новых конкурентов;</p> <p>2. Использование импортного сырья.</p>
<p>Слабые стороны:</p> <p>1. Нехватка квалифицированных кадров;</p> <p>2. Перегруженность персонала.</p> <p>3. Старение высококвалифицированных рабочих.</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности» :</p> <p>1. За счет использования новых автоматизированных технологий уменьшить трудозатраты персонала на</p>	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>1. За счет ввода дополнительных продуктов глубокой переработки увеличить конкурентоспособность продукции;</p> <p>2. Привлечение молодых специалистов.</p>

	совершение операций; 2. За счет повышения квалификации персонала исключить возможность появления аварийной ситуации.	
--	--	--

4.1 Анализ эффективности производства

4.1.1 Расчет производственной мощности предприятия

Под производственной мощностью химического предприятия понимается максимально возможный годовой выпуск продукции в номенклатуре и ассортименте [23]:

$$M = P_{\text{час}} * T_{\text{эф}} * K_{\text{об.}}, \quad (4.1)$$

$$M = 28500 * 8000 * 1 = 228000000 \text{ кг/год}$$

где $P_{\text{час}}$ - часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

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

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

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}} \quad (4.2)$$

$$T_{\text{эфф}} = 365 - 31,6 - 0 = 333,4$$

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

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

$T_{\text{то}}$ – время технологических остановок.

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}} \quad (4.3)$$

$$T_{\text{ном}} = 365 - 0 - 0 = 365$$

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

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

Таблица 4.2
Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени	
• выходные	0(0)
• праздники	0(0)
Номинальный фонд рабочего времени	365(8760)
Простой оборудования в ремонтах	31,6 (760)
Эффективное время работы оборудования	333(8000)

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования находим по формуле:

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}} / T_{\text{н}} \quad (4.4)$$

$$K_{\text{экс}} = 8000/8760 = 0,913$$

Коэффициент экстенсивного использования оборудования:

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{мах}} \quad (4.5)$$

$$K_{\text{инт}} = 70956,1/81599,51 = 0,869$$

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

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

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} * K_{\text{инт}} = 0,913*0,869 = 0,793 \quad (4.6)$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ($N_{\text{год}}$):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} * M \quad (4.7)$$

$$N_{\text{год}} = 0,793*181840000 = 158600000 \text{ кг}$$

4.2 Расчет себестоимости готовой продукции

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

1. Расчет численности персонала

Таблица 4.3

Расчет численности персонала

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках
Главный технолог	ИТР	Высшее	1	1
Механик установки	ИТР	Высшее	1	1
Энергетик установки	ИТР	Высшее	1	1
Инженер КИП и АСУ	ИТР	Высшее	1	1
Итого:			4	
Старший оператор	Производственный рабочий	6 разр.	4	3
Оператор установки	Производственный рабочий	5 разр.	9	3
Помощник оператора	Вспомогательный персонал	4 разр.	4	3
Итого:			17	
Дежурный слесарь по ремонту оборудования	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Дежурный слесарь-электрик	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Дежурный слесарь КИП	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Итого:			12	
Итого:			33	

2. Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника (Табл.4.4)

Таблица 4.4

Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2	Нерабочие дни		
	Выходные	104	832
	Праздники	12	96
3	Номинальный фонд рабочего времени	249	7832
4	Планируемые невыходы		
	• очередные и дополнительные отпуска	28	224
	• невыходы по болезни	14	112
	• декретные отпуска	0	0
	• отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	0	0
	• выполнение гос. обязанностей	0	0
5	Эффективный фонд рабочего времени	207	7496

3. Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (пример графика сменности представлен в табл. 4.5).

Таблица 4.5

График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	09:00-17:00	А	А	А	Г	Г	Г	В	В	В	Б	Б	Б	А	А	А
2	17:00-01:00	Б	Б	Б	А	А	А	Г	Г	Г	В	В	В	Б	Б	Б
3	01:00-09:00	В	В	В	Б	Б	Б	А	А	А	Г	Г	Г	В	В	В
Отдых		Г	Г	Г	В	В	В	Б	Б	Б	А	А	А	Г	Г	Г

Расчет годового фонда зарплаты ИТР, служащих и МОП производится на основании их окладов согласно штатному расписанию.

4. Расчет сменооборота и количества выходных дней в году (табл.4.3,4)

5. Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$З_{\text{год}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} \quad (4.8)$$

Производственных рабочих:

$$З_{\text{год}} = 4680 + 590,27 = 5270,27 \text{ тыс.руб.}$$

ИТР:

$$З_{\text{год}} = 2192,26 + 276,502 = 2468,762 \text{ тыс.руб.}$$

Вспомогательного персонала:

$$З_{\text{год}} = 1104 + 139,24 = 1243,24 \text{ тыс.руб.}$$

Ремонтного персонала:

$$З_{\text{год}} = 3456 + 435,89 = 3891,89 \text{ тыс.руб.}$$

где $З_{\text{осн}}$ – основной фонд заработной платы рабочих, тыс.руб;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс.руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{тар}} + Пр + Д_{\text{н.вр.}} + Д_{\text{пр.дни}} + Д_{\text{бриг.}} \quad (4.9)$$

Производственных рабочих:

$$З_{\text{осн}} = 4680 \text{ тыс.руб.}$$

ИТР:

$$З_{\text{осн}} = 2192,26 \text{ тыс.руб.}$$

Вспомогательного персонала:

$$З_{\text{осн}} = 1104 \text{ тыс.руб.}$$

Ремонтного персонала:

$$З_{\text{осн}} = 3456 \text{ тыс.руб.}$$

где $З_{\text{тар}}$ – тарифный фонд заработной платы, тыс.руб;

$Пр$ – оплата премий (30%), тыс.руб.;

$Д_{\text{н.вр.}}$ – доплата за работу в ночное время (50%), тыс.руб.;

$Д_{\text{пр.дни}}$ – оплата за работу в праздничные дни (20%), тыс.руб.;

$Д_{\text{бриг}}$ – доплата не освобожденным бригадирам, тыс.руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{\text{тар}} = \sum Ч_{\text{сп}} * T_{\text{ст}} * T_{\text{эф,раб}} \quad (4.10)$$

Производственных рабочих:

$$Z_{\text{тар}} = 1872,42 \text{ тыс.руб.},$$

ИТР:

$$Z_{\text{тар}} = 876,904 \text{ тыс.руб.},$$

Вспомогательного персонала:

$$Z_{\text{тар}} = 441,6 \text{ тыс.руб.},$$

Ремонтного персонала:

$$Z_{\text{тар}} = 1382,4 \text{ тыс.руб.}$$

где $Ч_{\text{сп}}$ – списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

$T_{\text{сп}}$ – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс.руб.

Размер премий принимаем равным 20-70% от тарифного фонда заработной платы.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 40%.

Дополнительная зарплата:

$$Z_{\text{доп}} = (D_{\text{н}} * Z_{\text{осн}}) / T_{\text{эфф}} \quad (4.11)$$

Производственных рабочих:

$$Z_{\text{доп}} = (42 * 4680) / 333 = 590,27 \text{ тыс.руб.},$$

ИТР:

$$Z_{\text{доп}} = (42 * 2192,26) / 333 = 276,502 \text{ тыс.руб.},$$

Вспомогательного персонала:

$$Z_{\text{доп}} = (42 * 1104) / 333 = 139,24 \text{ тыс.руб.},$$

Ремонтного персонала:

$$Z_{\text{доп}} = (42 * 3456) / 333 = 435,89 \text{ тыс.руб.}$$

где $D_{\text{н}}$ – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, учеба)

Районный коэффициент для г. Анжеро-Судженск – 1,3.

Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

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

Таблица 4.6

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед.изм.	Цена, тыс.руб.	Расход, т		Затраты, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
Нефть товарная	т	17,5	1,011083	250000	17,69282	4400000

Расчет амортизационных отчислений

Таблица 4.7

Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс.руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс.руб
1.Здания			
1.1.АБК	3500	5	175
1.2.Операторная	7000	5	350
Итого:			525
2. Оборудование			
2.1. Колонна	180000	10	18000
2.2. АВО КХ1	10000	10	1000

2.3. АВО КХ2	9000	10	900
2.4. Насос Н3	900	10	90
2.5. Насос Н3Р	900	10	90
2.6 Насос Н7	900	10	90
2.7. Насос Н7Р	900	10	90
2.8. Теплообменник	350	10	35
2.9. Теплообменник	350	10	35
2.10. Сепаратор С1	3000	10	300
2.11. Холодильник Х2	150	10	15
Итого:	206450		20645
Итого:	211700		21170

Таблица 4.8

Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (250000 т/год)

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции (на т)	Затраты на весь объем (за год)
1. Сырье	тыс.руб.	17,6928	4400000
2. Электроэнергия на технологические нужды	тыс.руб.	0,00364	728
Итого условно -переменных издержек	тыс.руб	17,69644	4400728
3. Общепроизводственные накладные расходы;			
3.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
• Амортизация оборудования	тыс.руб	0,10585	21170
• Ремонт оборудования	тыс.руб	0,010346	2069,28
3.2.Заработная плата ремонтного персонала	тыс.руб	0,01945	3891,89
• Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (27,1%)	тыс.руб.	0,0527	1054,7
3.3. Заработная плата ИТР	тыс.руб	0,01234	2468,762

• Отчисление на соц.нужды ИТР (27,1%)		0,003345	669,03
3.4. Заработная плата производственных рабочих	тыс.руб	0,02635	5270,27
• Отчисление на соц.нужды производственных рабочих (27.1%)		0,00714	1428,24
3.4. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс.руб	0,006216	1243,24
• Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (27,1%)		0,001684	336,92
Итого условно-постоянных издержек	тыс.руб	0,19801	39602,335
Цеховая себестоимость	тыс.руб	17,7016	4440330,35
4. Управленческие расходы (3% от цеховой себестоимости)	тыс.руб	0,53104	106209,91
Заводская себестоимость	тыс.руб	18,2327	4546540,26
5. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс.руб	0,182327	36465,4026
Полная себестоимость	тыс.руб	18,41502	4583005,66

Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц=C*(1+P/100) \quad (4.12)$$

$$Ц= 23,0187$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (25%)

$$B_{пр} = 23,0187*250000=5754675$$

4.3 Анализ безубыточности производства

Определение точки безубыточности

Аналитический способ:

$$Q_{кр} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_{1,2т} - Изд_{пер}} \quad (4.13)$$

$$Q_{кр} = \frac{182277,647}{23,0187 - 17,69644} \approx 37000 \text{ ТОНН}$$

Графический способ определения точки безубыточности:

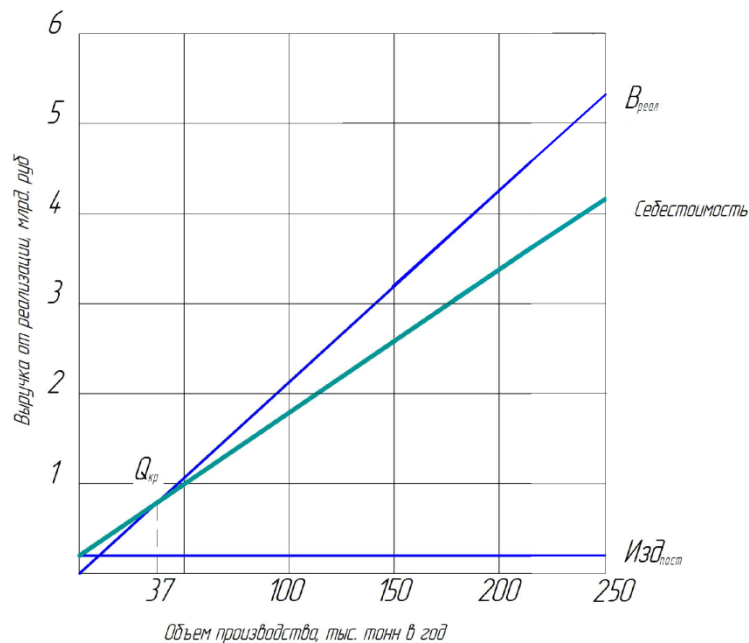


Рисунок 14 – График безубыточности производства

4.4 Определение технико-экономических показателей

Таблица 4.11

Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед.изм.	Плановый год
1. Объем производства	тыс.т	250000
2. Объем продаж	тыс.т	250000
3. Цена 1 тонны	тыс.руб.	23,0187
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс.руб.	5754675
5. Суммарные издержки	тыс.руб.	3683005,66
5.1. Издержки переменные	тыс.руб.	3500728
5.2. Издержки постоянные	тыс.руб.	39602,335

6. Операционная прибыль (4-5)	тыс.руб.	2071670
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс.руб.	414334
8. Чистая прибыль (6-7)	тыс.руб.	1657336
9. Себестоимость 1 тонны	тыс.руб.	18,0187
10. Стоимость основных средств	тыс.руб.	211700
11. Численность основных рабочих	чел.	33
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс.руб./чел	6415,15
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	27,18
14. Фондоемкость (10/4)	руб.руб.	0,037
15. Производительность труда (4/11)	тыс.руб./чел	174384
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	44,16
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	28,76
18. Критический объем продаж ($Q_{кр}$)	тыс.т.	37000
19. Критический объем продаж ($Q_{кр}$)	Тыс.руб.	851691,9

В результате экономического расчета получили следующие значения:

- себестоимость 1 тонны продукции составляет 18,0187 тысяч рублей;
- чистая прибыль на плановый период составляет 1657336 тысяч рублей;
- рентабельность производства - 28,76%

Заключение

Основными результатами технологического расчета являются определенные в нем геометрические размеры и параметры, такие как высота и диаметр колонны, количество тарелок. Также определено место ввода сырья.

Целью механического расчета являлось обеспечение надежной и безопасной работы оборудования. Для этого рассчитали толщину стенки обечайки и днища. Обеспечили статическую прочность и герметичность всех фланцевых соединений. Укрепили отверстия под штуцер для ввода сырья и люка-лаза увеличением толщины стенки штуцера. Был проведен механический расчет клапанной тарелки во избежание прогиба и неэффективной работы устройства. Рассчитали аппарат на прочность и устойчивость от действия ветровых нагрузок.

Были рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности, выявлены возможные источники загрязнения и назначены мероприятия по предотвращению выбросов.

В экономической части проекта результатом работы является анализ безубыточности производства и расчет технико-экономических показателей на плановый год. В итоге мы получили следующие значения:

- себестоимость 1 тонны продукции составляет 18,019 тысяч рублей;
- чистая прибыль на плановый период составляет 1657336 тысяч рублей;
- рентабельность производства - 28,76%

Поставленная перед нами задача выполнена в полном объеме.

Список использованных источников

1. Постоянный технологический регламент установки переработки нефти (УПН-200). – ООО «Нефтехим–Инжиниринг». 2010. – 285с.;
2. «Технологические расчеты установок переработки нефти»: Учеб. пособие для вузов/ Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдинов Р.А и др.: Химия, 1987. 352с.;
3. «Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии». Эмирджанов Р.Т., Лемберанский Р.А - М.: Химия, 1989. - 192 с.;
4. «Перегонка и ректификация в нефтепереработке». Александров И.А. - М.: Химия, 1981. 352 с.;
5. «Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов/ Под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г.Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.;
6. «Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред. Ю.И. Дытнерского, 3-е изд., стереотипное. М.: ООО ИД «Альянс», 2007 – 496с.;
7. ГОСТ 52857.1 – 2007. «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования»;
8. ГОСТ 52857.2 – 2007 « Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек»;
9. ГОСТ 52857.3 – 2007 «Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешних давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер»;
10. ГОСТ 52857.4 – 2007 «Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений»;
11. ГОСТ 51273 – 99 «Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий»;

12. ГОСТ 51274 – 99 «Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность»;
13. Лашинский А.А. «Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – 2-е изд., перепечатка с 1981 г. М.: ИД «Альянс», 2008 -384 с.;
14. Беляев В.М. «Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч.I: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: Учеб. пособие / В.М. Беляев, В.М. Миронов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, - 2011. – 300 с.;
15. Семакина О.К. «Машины и аппараты химических производств: учебное пособие / О.К. Семакина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, - 2011. – 127 с.;
16. ГН 2.2.5.1313. – 03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ в воздухе рабочей зоны»;
17. СанПиН 2.2.0.555-96 «Гигиенические требования к условиям труда женщин»;
18. ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»;
19. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»;
20. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»;
21. ГОСТ 12.1.018-93 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования»;
22. РД 34.21.122 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений»;

23. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие /Креницына З.В., Видяев И.Г.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

Приложение А. Спецификация