

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Установка первичной переработки нефти на ООО «НПЗ» Северный Кузбасс»

УДК66.048.3-048.35:665.63 (571.17)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К31	Ермошин Иван Анатольевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2018 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11, ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17, ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель НОЦ Н.М. Кижнера

_____ Е.А. Краснокутская
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К23	Ермошин Иван Анатольевич

Тема работы:

Установка первичной переработки нефти

Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.04.18г №3067/с
---	-------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

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>	РАСЧЕТ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ Производительность по нефти, 150000т/год Концентрация нефти, 99 % Давление на входе в колонну, 0,147МПа Давление в низу колонны, 0,149 МПа Температура сырья при входе в колонну, 340 °С

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<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 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</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема (А1). Лист 2-Общий вид ректификационной колонны (А1) Лист 3-Выносные элементы ректификационной колонны (А1). Лист 4-Технико-экономические показатели (А2)</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ларионова Екатерина Владимировна</p>
<p>Конструктивно-механический раздел</p>	<p>Беляев Василий Михайлович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.04.18г
---	-----------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К23	Ермошин И.А.		

РЕФЕРАТ

В представленном дипломном проекте рассмотрены вопросы, связанные с разработкой ректификационной колонны предназначенной для разделения обезвоженной и обессоленной нефти на фракции.

В дипломном проекте рассчитана и подобрана ректификационная колонна непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения обезвоженной и обессоленной нефти на фракции.

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

Дипломный проект состоит из пояснительной записки и 4 листов графического материала формата А1. Пояснительная записка содержит 116 страниц текста формата А4, 25 таблиц, 15 рисунков, источников литературы.

REPORT

The diploma project is presented the questions dealing with the development of a distillation column intended for the separation of dehydrated and desalinated oil into fractions.

The diploma project is calculated and chosen distillation column of continuous working with perforated plates for separating of the dehydrated and desalted oil into fractions.

It was made the material, technological, thermal and structural-mechanical calculation.

In structurally-mechanical section the calculation of walls thickness of shell and standard elliptic caps and bottoms were made; selection of standard fittings; calculation of the fortifications of the holes and flanged joints; calculation of plates; the calculation of wind load; calculation of metal tower.

The diploma project work consists of the explanatory note and four sheets of graphic material A1.

The explanatory note contains 116 pages of typewritten text, 25 tables, 15 figures, a list of references.

Содержание

Введение	10
1 Описание технологической схемы	18
2 Расчет ректификационной колонны	19
2.1 Технологический расчет	19
2.1.1. Материальный баланс	19
2.1.2. Тепловой расчет	28
2.1.3. Гидравлический расчет	31
2.2 Конструктивный расчет колонны	32
2.2.1. Расчет диаметра колонны	32
2.2.2. Расчет высоты колонны	33
2.2.3. Расчет патрубков	34
2.3. Прочностной расчет	37
3 Социальная ответственность	86
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	104
Заключение	115
Список литературы	116
Спецификация	

ВВЕДЕНИЕ

Нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) представляет собой совокупность основных нефтехнологических процессов (установок, цехов, блоков), а также вспомогательных и обслуживающих служб, обеспечивающих нормальное функционирование промышленного предприятия (товарно-сырьевые, ремонтно-механические цеха, цеха КИПиА, паро-, водо- и электроснабжения, цеховые и заводские лаборатории, транспортные, пожаро- и газоспасательные подразделения, медпункты, столовые, диспетчерская, дирекция, отделы кадров, финансов, снабжения, бухгалтерия и т.д.). Целевое назначение НПЗ – производство в требуемых объеме и ассортименте высококачественных нефтепродуктов и сырья для нефтехимии.[1]

Современные нефтеперерабатывающие предприятия характеризуются большой мощностью как НПЗ (исчисляемой миллионами тонн в год), так и составляющих их технологических процессов. В этой связи на НПЗ предъявляются высокие требования к уровню автоматизации технологических процессов, надежности и безопасности оборудования и технологии, квалификации обслуживающего персонала. Мощность НПЗ зависит, прежде всего, от потребности в тех или иных нефтепродуктах района их потребления, наличия ресурсов сырья и энергии, дальности транспортных перевозок и близости соседних аналогичных предприятий. Крупные предприятия экономически эффективнее, чем мелкие. На крупных НПЗ имеются благоприятные предпосылки для сооружения мощных высокоавтоматизированных технологических установок на базе крупнотоннажных аппаратов и оборудования для более эффективного использования сырьевых, водных и земельных ресурсов и значительного снижения удельных капитальных и эксплуатационных затрат. [2]

Перегонка и ректификация нефти

Перегонка (дистилляция) – это процесс физического разделения нефти на фракции (компоненты), отличающиеся друг от друга и от исходной смеси по температурным пределам (или температуре) кипения. [1]

По способу проведения процесса различают простую и сложную перегонку.

Простая перегонка осуществляется постепенным, однократным или многократным испарением.

Перегонка с постепенным испарением состоит в постепенном нагревании нефти отначальной до конечной температуры с непрерывным отводом и конденсацией образующихся паров. Этот способ перегонки нефти и нефтепродуктов в основном применяют в лабораторной практике при определении их фракционного состава.

При однократной перегонке жидкость (нефть) нагревается до заданной температуры, образовавшиеся и достигшие равновесия пары однократно отделяются от жидкой фазы – остатка. Этот способ, по сравнению с перегонкой с постепенным испарением, обеспечивает при одинаковых температуре и давлении большую долю отгона. Это важное его достоинство используют в практике нефтеперегонки для достижения максимального отбора паров при ограниченной температуре нагрева во избежание крекинга нефти.

Перегонка с многократным испарением заключается в последовательном повторении процесса однократной перегонки при более высоких температурах или низких давлениях по отношению к остатку предыдущего процесса.

Из процессов сложной перегонки различают перегонку с дефлегмацией и перегонку с ректификацией.

При перегонке с дефлегмацией образующиеся пары конденсируют и часть конденсата в виде флегмы подают навстречу потоку пара. В результате однократного контактирования парового и жидкого потоков уходящие из системы пары дополнительно обогащаются низкокипящими компонентами, тем самым несколько повышается четкость разделения смесей. [1]

Перегонка с ректификацией – наиболее распространенный в химической и нефтегазовой технологии массообменный процесс, осуществляемый в аппаратах – ректификационных колоннах – путем многократного противоточного контактирования паров и жидкости. Контактное взаимодействие потоков пара и жидкости может производиться либо непрерывно (в насадочных колоннах), либо ступенчато (в тарельчатых ректификационных колоннах). При взаимодействии встречных потоков пара и жидкости на каждой ступени контактирования (тарелке или слое насадки) между ними происходит тепло- и массообмен, обусловленный стремлением системы к состоянию равновесия. В результате каждого контакта компоненты перераспределяются между фазами: пар несколько обогащается низкокипящими, а жидкость – высококипящими компонентами. При достаточно длительном контакте и высокой эффективности контактного устройства пар и жидкость, уходящие из тарелки или слоя насадки, могут достичь состояния равновесия, то есть температуры потоков станут одинаковыми и при этом их составы будут связаны уравнениями равновесия. Такой контакт жидкости и пара, завершающийся достижением фазового равновесия, принято называть равновесной ступенью, или теоретической тарелкой. Подбирая число контактных ступеней и параметры процесса (температурный режим, давление, соотношение потоков, флегмовое число и др.), можно обеспечить любую требуемую четкость фракционирования нефтяных смесей. Место ввода в ректификационную колонну нагретого перегоняемого сырья называют питательной секцией (зоной), где осуществляется однократное испарение. Часть колонны, расположенная выше питательной секции, служит для ректификации парового потока и называется концентрационной (укрепляющей), а другая – нижняя часть, в которой осуществляется ректификация жидкого потока, – отгонной, или исчерпывающей, секцией. [3]

Особенности нефти как сырья процессов перегонки

Нефть и нефтяные смеси как сырье для ректификации характеризуются рядом специфических свойств, обуславливающих некоторые особенности в технологии их переработке:

1. Нефть и особенно ее высококипящие фракции и остатки характеризуются невысокой термической стабильностью. Для большинства нефтей температура термической стабильности соответствует температурной границе деления примерно между дизельным топливом и мазутом по кривой истинной температуры кипения, т. е. 350...360 °С. Нагрев нефти до более высоких температур будет сопровождаться ее деструкцией и, следовательно, ухудшением качества отбираемых продуктов перегонки. В этой связи перегонку нефти и ее тяжелых фракций проводят с ограничением по температуре нагрева. В условиях такого ограничения для выделения дополнительных фракций нефти, выкипающих выше предельно допустимой температуры нагрева сырья, возможно, использовать практически единственный способ повышения относительной летучести компонентов – перегонку под вакуумом. Обычно для повышения четкости разделения при вакуумной (а также и атмосферной) перегонке применяют подачу водяного пара для отпаривания более легких фракций. Следовательно, с позиций термической нестабильности нефти технология ее глубокой перегонки (т. е. с отбором фракций до гудрона) должна включать как минимум 2 стадии: атмосферная перегонка до мазута с отбором топливных фракций и перегонку под вакуумом мазута с отбором газойлевых (масляных) фракций и в остатке гудрона. [4]

2. Нефть – многокомпонентное сырье с непрерывным характером распределения фракционного состава и соответственной летучести компонентов. Это означает, что с экономической точки зрения, нецелесообразно требовать от процессов перегонки выделить, например, индивидуально чистый углевод или сверхузкие фракции нефти. Поэтому в нефтепереработке довольствуются получением следующих топливных и газойлевых фракций, выкипающих в достаточно широком интервале температуры:

бензиновые – начало кипения 140 °С (180 °С);

керосиновые – 140 (180)...240 °С;

дизельные – 240...350 °С;

вакуумный дистиллят – 350...400 °С, 400...450 °С и 450...500 °С;

тяжелый остаток (гудрон) – выше 490 °С (500 °С). [1]

3. Высококипящие и остаточные фракции нефти содержат значительное количество гетероорганических смолисто-асфальтеновых соединений и металлов, попадание которых при перегонке в дистилляты резко ухудшает их эксплуатационные характеристики и значительно усложняет последующую их переработку. Это обстоятельство обуславливает необходимость организации четкой сепарации фаз в секции питания атмосферной и особенно вакуумной колонн. Эффективная сепарация фаз в секции питания ректификационной колонны достигается установкой специальных сепараторов (отбойных тарелок, насадок и т. д.), улавливающих мельчайшие капли (туман, пена, брызги) кубовой жидкости, а также промывкой потока паров стекающей жидкостью в специальной промывной тарелке. Для этого и с целью повышения разделительной способности нижних тарелок сепарационной секции ректификационной колонны необходимо обеспечить некоторый избыток орошения, называемый избытком однократного испарения, путем незначительного перегрева сырья (но не выше предельно допустимой величины). Доля отгона при однократном испарении в секции питания ректификационной колонны должна быть на 2...5 % больше выхода продуктов, отбираемых в виде дистиллята и боковых погонов. [1]

Конструктивные типы аппаратов

Основные типы конструкций аппаратов:

В зависимости от применяемого давления колонные аппараты подразделяются на атмосферные, вакуумные и колонны, работающие под давлением.

К атмосферным колоннам обычно относят колонны, в верхней части которых рабочее давление незначительно превышает атмосферное и определяется сопротивлением коммуникаций и аппаратуры, расположенных на потоке движения паров ректификата после колонны. Давление в нижней части колонны зависит в основном от сопротивления ее внутренних устройств и может значительно превышать атмосферное (например, колонна для разделения смеси этилбензола и ксилолов). [1]

В вакуумных колоннах давление ниже атмосферного (создано разрежение), что позволяет снизить рабочую температуру процесса и избежать разложения продукта (разделение мазута, производство стирола, синтетических жирных кислот и др.). Величина остаточного давления в колонне определяется физико-химическими свойствами разделяемых продуктов и главным образом допустимой максимальной температурой их нагрева без заметного разложения. [2]

В настоящее время ректификационные колонны и их контактные устройства классифицируются следующим образом:

1) по назначению:

для атмосферной и вакуумной перегонки нефти и мазута;

вторичной перегонки бензина;

стабилизации нефти, газоконденсатов, нестабильных бензинов;

фракционирования нефтезаводских, нефтей и природных газов;
отгонки растворителей в процессах очистки масел;
разделения продуктов трубчатой печи и каталитических процессов переработки нефтяного сырья и газов и т. д.;

2) по способу межступенчатой передачи жидкости:
с переточными устройствами (с одним, двумя или более);
без переточных устройств (провального типа);

3) по способу организации контакта парогазовой и жидкой фаз:
тарельчатые;
насадочные;
роторные.

По типу применяемых контактных устройств наибольшее распространение получили тарельчатые, а также насадочные ректификационные колонны.

В ректификационных колоннах применяются тарелки различных конструкций (колпачковые, клапанные, струйные, провальные и т. п.), существенно различающиеся по своим рабочим характеристикам и технико-экономическим данным. При выборе конструкции контактного устройства учитывают как их гидродинамические и массообменные характеристики, так и экономические показатели работы колонны при использовании того или иного типа контактных устройств. [1]

В настоящее время в промышленной практике известны сотни различных конструкций тарелок, которые можно классифицировать по способу передачи жидкости с тарелки на тарелку, по способу взаимодействия жидкой и паровой (газовой) фаз, по характеру диспергирования взаимодействующих фаз, по конструкции устройства для ввода пара (газа) в жидкость и др. [3]

По способу передачи жидкости различают тарелки со специальными переливными устройствами и тарелки провальные. У тарелок со специальными переточными устройствами жидкость перетекает с тарелки на тарелку отдельно от потока пара через специальные каналы. [4]

В зависимости от нагрузки по жидкости и технологического назначения колонны переток жидкости может осуществляться одним, двумя и более потоками. При применении тарелок с большим числом потоков следует учитывать, что при этом уменьшается длина пути жидкости на тарелке и, как следствие, снижается эффективность массопередачи. Колонна разбивается на несколько самостоятельных отсеков, что препятствует перераспределению пара по сечению аппарата в целом и ухудшает равномерность работы тарелок.

В пределах полотна тарелки течение жидкой фазы можно направить по горизонтальной поверхности или по слегка наклонной в сторону слива как в одном уровне, так и каскадом. Применение каскадных тарелок позволяет уменьшить значение градиента уровня жидкости, что обеспечивает в колоннах большого диаметра более эффективную работу тарелок. Однако в этом случае увеличивается расстояние между тарелками и усложняется конструкция полотна. При низких значениях нагрузки по жидкости обычно используют переливные трубы или специальные конструкции переливов с кольцевым движением жидкости на тарелке. В последнем случае корпус аппарата и полотно тарелки разделяются вертикальной перегородкой на две части, что позволяет вдвое уменьшить длину сливной перегородки и увеличить нагрузку по жидкости на единицу длины сливной перегородки. [2]

Стремление увеличить производительность колонны по паровой фазе привело к разработке переливных устройств, оснащенных в месте ввода жидкости на тарелку дополнительной горизонтальной перегородкой, под которой располагаются контактные элементы (отверстия,

клапаны и т. д.). Такая конструкция устраняет «мертвые» зоны под сливным карманом, что позволяет увеличить производительность колонны на 10...20 %. [1]

Применение таких тарелок целесообразно при повышенных нагрузках по жидкости. Тарелки с двумя зонами контакта фаз обеспечивают взаимодействие жидкости и пара как в барботажном слое на полотне тарелки, так и в стекающих струях, что увеличивает эффективность массопередачи. Контакт между жидкой и паровой фазами осуществляется главным образом по схемам перекрестного тока (тарелки с переливными устройствами) или противотока (провальные тарелки).

В последние годы получили распространение перекрестно-прямоточные контактные устройства, использующие сочетание перекрестного тока и прямотока в зоне контакта фаз, что в целом обеспечивает высокие показатели по производительности и эффективности. Скоростные прямоточные тарелки обеспечивают контактирование пара и жидкости в закрученном восходящем потоке. [3]

По характеру диспергирования взаимодействующих фаз различают тарелки барботажного и струйного типов. На тарелках пар (газ), диспергируясь на мелкие пузырьки и струи, с большой скоростью проходит через слой жидкости. Образующаяся при этом газожидкостная система называется пеной. Режим взаимодействия фаз, когда пар является дисперсной фазой, а жидкость сплошной фазой, называется барботажным, а тарелки, реализующие этот режим работы, называются барботажными. У барботажных тарелок элементы контактных устройств (колпачки, клапаны, отверстия) создают в слое жидкости движение пара почти в вертикальном направлении. Барботажный режим имеет место при относительно небольших скоростях пара. Тарелки барботажного типа могут иметь стесненное или свободное зеркало барботажа. У тарелок со стесненным зеркалом барботажа часть поверхности жидкости, через которую пар выходит в межтарельчатое пространство, занята контактными устройствами – желобчатыми или круглыми колпачками (примерно от 40 до 75 %), поэтому площадь для выхода пара из жидкости составляет 25...60 % [1] рабочей площади тарелки. У тарелок со свободным зеркалом барботажа устройства для ввода пара в жидкость размещены практически на одном уровне с полотном тарелки (отверстия, клапаны и т. п.), вследствие чего пар может выходить из слоя жидкости в межтарельчатое пространство практически в любом месте барботажного слоя. Площадь для выхода пара из жидкости в этом случае составляет 70...90 % [1] рабочей площади тарелки. При больших скоростях пара дисперсной фазой становится жидкость, а пар – сплошной фазой. Контакт между фазами осуществляется на поверхности капель и струй жидкости, движущихся в межтарельчатом пространстве с большой скоростью. Этот режим называется струйным, а контактные устройства, основанные на этом принципе взаимодействия фаз, струйными. При струйном режиме контакт между паром (газом) и жидкостью осуществляется в прямотоке. Необходимо отметить, что при реализации чистого прямоточного движения контактирующих фаз, несмотря на значительное повышение производительности аппарата, эффективность такого взаимодействия в пределах отдельного контактного элемента обычно невысока и ограничена условиями достижения равновесия на выходе из области контактной зоны, где осуществляется прямоток фаз. Для повышения общей эффективности взаимодействия контактирующих фаз прибегают к различным способам локализации (компенсации) прямотока. [1]

В зависимости от конструкции устройств для ввода пара в жидкость различают ситчатые (дырчатые), колпачковые, клапанные, язычковые (чешуйчатые) и другие типы тарелок. Направление ввода газа (пара) в жидкость и характер взаимодействия фаз в зоне контакта оказывают существенное влияние на производительность и эффективность работы тарелки, а также на зависимость эффективности тарелки от нагрузки по пару. [3]

Для повышения производительности тарелки используют для контактирования фаз прямоток, а для повышения эффективности взаимодействия фаз предпочитают перекрестный ток или противоток. Оптимальное сочетание указанных характеристик обеспечивает реализацию наиболее высоких эксплуатационных показателей тарельчатых контактных устройств. [2]

Для разделения бинарных или многокомпонентных смесей на два компонента достаточно одной простой колонны (если не предъявляются сверхвысокие требования к чистоте продукта). Для разделения же многокомпонентных непрерывных или дискретных смесей более чем на два компонента (фракции) может применяться одна сложная колонна либо система простых или сложных колонн, соединенных между собой в определенной последовательности прямыми или обратными паровыми или (и) жидкими потоками. Выбор конкретной схемы и рабочих параметров процессов перегонки определяется технико-экономическими и технологическими расчетами с учетом заданных требований по ассортименту и четкости разделения, термостабильности сырья и продуктов, возможности использования доступных и дешевых хладагентов, теплоносителей и т. п. [2]

В работающей ректификационной колонне через каждую тарелку проходят четыре потока:

- 1) жидкость-флегма, стекающая с вышележащей тарелки;
- 2) пары, поступающие с нижележащей тарелки;
- 3) жидкость-флегма, уходящая на нижележащую тарелку;
- 4) пары, поднимающиеся на вышележащую тарелку.

Пары и жидкость, поступающие на тарелку, не находятся в состоянии равновесия, однако, вступая в соприкосновение, стремятся к этому состоянию. Жидкий поток с вышележащей тарелки поступает в зону более высокой температуры, и поэтому из него испаряется некоторое количество низкокипящего компонента, в результате чего концентрация последнего в жидкости уменьшается. С другой стороны, паровой поток, поступающий с нижележащей тарелки, попадает в зону более низкой температуры и часть высококипящего продукта из этого потока конденсируется, переходя в жидкость. Концентрация высококипящего компонента в парах таким образом понижается, а низкокипящего – повышается. Фракционный состав паров и жидкости по высоте колонны непрерывно изменяется. Часть ректификационной колонны, которая расположена выше ввода сырья, называется концентрационной, а расположенная ниже ввода – отгонной. В обеих частях колонны происходит один и тот же процесс ректификации. [1]

С верха концентрационной части в паровой фазе выводится целевой продукт необходимой чистоты – ректификат, а с низа – жидкость, все еще в достаточной степени обогащенная низкокипящим компонентом. В отгонной части из этой жидкости окончательно отпаривается низкокипящий компонент. В виде жидкости с низа этой части колонны выводится второй целевой компонент – остаток. Для нормальной работы ректификационной колонны необходимо, чтобы с верха колонны на нижележащие тарелки непрерывно стекала жидкость (флегма). Поэтому часть готового продукта (ректификата) после конденсации возвращается на верхнюю тарелку колонны в виде так называемого орошения. С другой стороны, для нормальной работы колонны необходимо, чтобы с низа колонны вверх непрерывно поступали пары. Чтобы создать в колонне паровой поток, часть уходящего из колонны остатка подогревается, испаряется и возвращается обратно в колонну. [3]

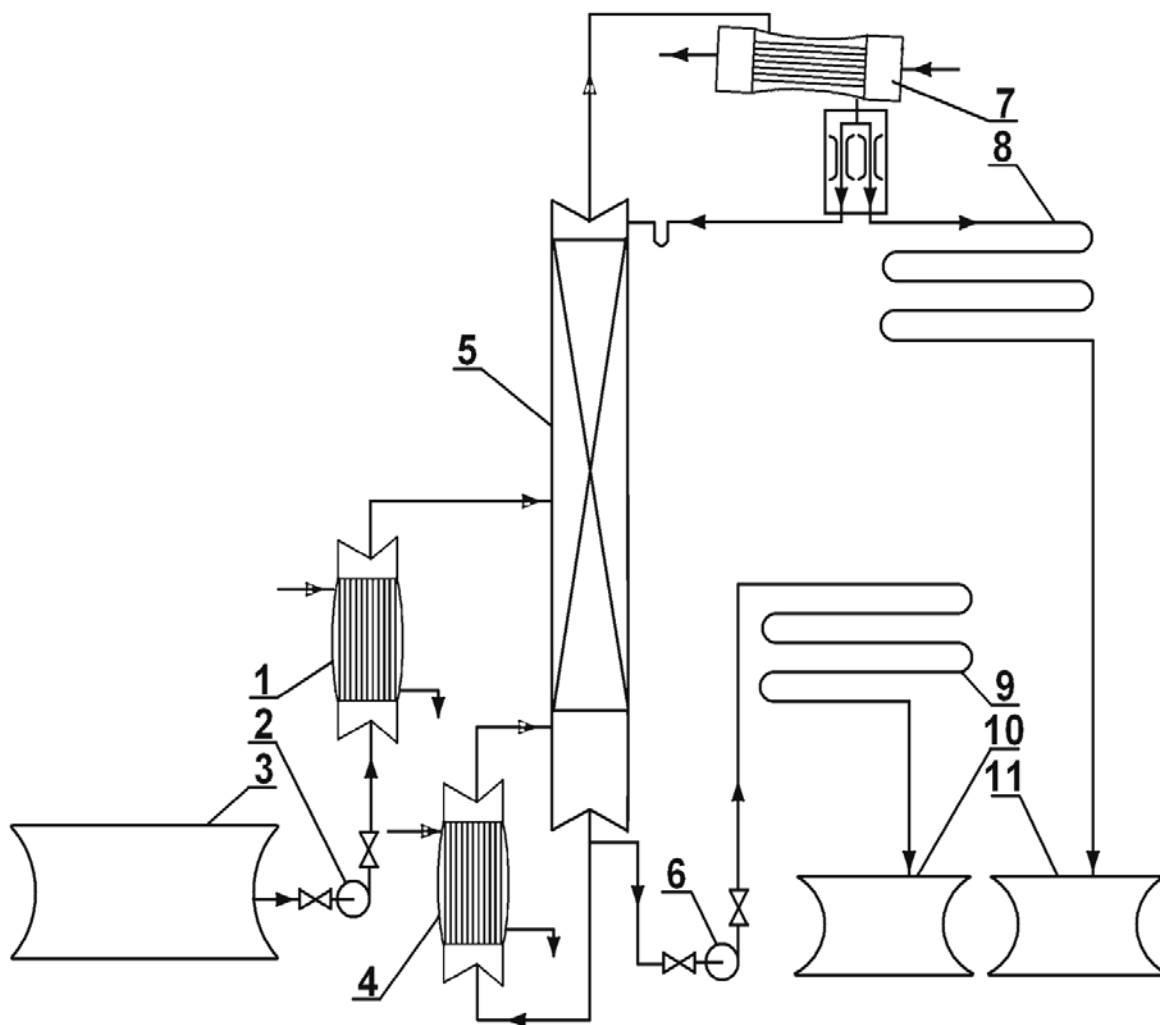


Рис. 1. Принципиальная схема ректификационной установки:

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

Исходную смесь из промежуточной емкости 3 центробежным насосом 2 подают в теплообменник 1, где она подогревается до температуры кипения. Нагретая смесь поступает на разделение в ректификационную колонну 5, где состав жидкости равен составу исходной смеси x_1 . Стекая вниз по колонне, жидкость взаимодействует с поднимающимся вверх паром, образующимся при кипении кубовой жидкости в кипятильнике 4.

Начальный состав пара примерно равен составу кубового остатка x_w , т. е. обеднен легколетучим компонентом. В результате массообмена с жидкостью пар обогащается легколетучим компонентом. Для более полного обогащения верхнюю часть колонны орошают в соответствии с заданным флегмовым числом жидкостью (флегмой) состава x_p получаемой в дефлегматоре путем конденсации пара, выходящего из колонны. Часть конденсата выводится из дефлегматора в

виде готового продукта разделения – дистиллята, который охлаждается в теплообменнике 7 и направляется в промежуточную емкость 8. Из кубовой части колонны насосом 9 непрерывно выводится кубовая жидкость – продукт, обогащенный труднолетучим компонентом, который охлаждается в теплообменнике 10 и направляется в емкость 11. [1]

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА

Схема работы колонн К-1.

Атмосферная колонна К-1 предназначена для разделения обезвоженной и обессоленной нефти на фракции с обеспечением максимального отбора дизельного топлива в соответствии с требованиями по номенклатуре и качеству.

Колонна имеет 43 однопоточные тарелки.

Режим работы колонны:

температура верха – 103°C;

температура низа – ~348°C;

давление верха – 1 кгс/см² (изб.);

давление низа – 1,3 кгс/см² (изб.);

Сырье вводится в колонну двумя потоками.

Паровой поток поступает с верха сепаратора С-1 под тарелку вывода нижнего циркуляционного орошения. Жидкостной поток поступает в зону подачи сырья из печи П-1 с температурой 370 градусов. Пары с верха К-1 поступают на конденсацию в воздушные конденсаторы АВО-1А÷АВО-1К, установленные параллельно по конденсирующемуся потоку.

Далее парожидкостная смесь с температурой 40 градусов подается на блок стабилизации.

Фракция компонента дизельного топлива (КДТ) 160-240°C с 11 тарелки К-1, самотеком поступает в стриппинг К-2. Для улучшения отпарки легких фракций в куб К-2 подается перегретый водяной пар из пароперегревателя печи П-1А,В. Пары с верха К-2 возвращаются в колонну К-1.

КДТ (фр. 160÷240°C) с низа К-2 насосом Н-7А,В подается на охлаждение в блок теплообмена.

Фракция компонента дизельного топлива 230-320°C с 20 тарелки К-1 самотеком поступает в стриппинг К-3. Для улучшения отпарки легких фракций в куб К-3 подается перегретый водяной пар из пароперегревателя печи П-1А,В. Пары с верха К-3 возвращаются в колонну К-1.

КДТ (фр. 230-320°C) с низа К-3 насосом Н-8А,В подается на охлаждение в блок теплообмена.

Атмосферный газойль выводится из К-1 с 27 тарелки и поступает на прием насосов Н-9А,В. Далее атмосферный газойль насосом Н-9А,В направляется на блок теплообмена.

Избыточное тепло в К-1 снимается с помощью двух циркуляционных орошений: верхнего циркуляционного орошения (ВЦО) и нижнего циркуляционного орошения (НЦО).

Верхнее циркуляционное орошение (ВЦО) К-1 с 14 тарелки насосом Н-10А,В подается на блок теплообмена и возвращается в колонну К-1 на 12 тарелку.

Нижнее циркуляционное орошение (НЦО) К-1 с 29 тарелки насосом Н-11А,В подается так же на блок теплообмена и возвращается в К-1 на 27 тарелку.

Для улучшения отпарки легких фракций в куб колонны К-1 подается перегретый водяной пар от пароперегревателя печи П-1А,В. Мазут с низа колонны К-1 насосом Н-12А,В направляется через блок теплообмена на выход с установки.

2 РАСЧЕТ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛЛОННЫ

2.1. Технологический расчет

2.1.1. Материальный баланс

Режим работы отделения ректификации нефти – непрерывный.

Работа осуществляется в две смены по двенадцать часов.

$$T_{\text{эф.}} = T_{\text{г}} - T_{\text{кап}} - T_{\text{тек}}$$

$$T_{\text{эф.}} = 365 - 15 - 10 = 340 \text{ суток} = 8160 \text{ часов.}$$

Мощность установки по нефти – 150000 т/год;

Часовая производительность по нефти:

$$\Pi = \frac{150000 \cdot 1000}{8160} = 18382,35 \text{ кг/ч.}$$

Материальный баланс ЭЛОУ.

Таблица 2.1 – Состав Западно-Сибирской нефти. [1]

Наименование компонента	% содержание
Нефть	99,4
Вода	0,5
Соли	0,1

1. Определим количество нефти на входе на ЭЛОУ:

100% – 18382,35 кг/ч сырой нефти,

99,4% - x кг/ч нефти. [Табл.1]

$$x = \frac{18382,35 \cdot 99,4}{100} = 18272,06 \text{ кг/ч;}$$

2. Определим количество воды, содержащееся в сырой нефти.

100% – 18382,35 кг/ч сырой нефти,

0,5 % - x кг/ч воды. [Табл.1]

$$x = \frac{18382,35 \cdot 0,5}{100} = 91,91 \text{ кг/ч;}$$

3. Определим количество солей в сырой нефти:

100% – 18382,35 кг/ч сырой нефти,

0,1% - x кг/ч солей. [Табл.1]

$$x = \frac{18382,35 \cdot 0,1}{100} = 18,38 \text{ кг/ч;}$$

4. Определим количество воды, подаваемая на промывку сырой нефти. По заводским данным расход воды на промывку составляет 2,0% масс. в расчете на сырую нефть. [1]

100% – 18382,35 кг/ч сырой нефти,

2% - x кг/ч воды.

$$x = \frac{18382,35 \cdot 2}{100} = 367,65 \text{ кг/ч;}$$

6. Определим количество воды на выходе с ЭЛОУ

$$91,91 + 367,65 = 459,56 \text{ кг/ч;}$$

7. Определим количество чистой воды на выходе из термодегидрататора.

$$459,56 - 0,09 = 459,47 \text{ кг/час.}$$

Таблица 2.2 – Материальный баланс ЭЛОУ

Приход	% масс.	кг/час	Расход	% масс.	кг/час
1. Нефть сырая	100	18382,35	3. Вода	100	459,56
в т. ч					
Нефть	99,4	18272,06			
Вода	0,5	91,91			
Соли СГ	0,1	18,38			
2. Вода	2	367,65	5. Соли СГ	100	18,38
			6. Нефть	100	18272,06
Итого:	102	18750,00	Итого:		18750,00

Материальный баланс отбензинивающей ректификационной колонны К-1:

По заводским данным потери составляют 2%.

$$x = \frac{18272,06 \cdot 2}{100} = 366,24 \text{ кг/ч,}$$

Следовательно количество нефти поступающей на ректификационную колонну К1 с учетом потерь составляет:

$$18272,06 - 366,24 = 17905,82 \text{ кг/ч.}$$

Определим количество фракции 35 – 185°С. В 100% нефти содержится 10,8% фракции 35-185°С.

[1]

100% – 17905,82 кг/ч нефти,

10,8% – x кг/ч фракции 35 – 185°С.

$$x = \frac{17905,82 \cdot 10,8}{100} = 1933,83 \text{ кг/ч;}$$

2. Определим количество УВГ. В 100% нефти содержится 1,1% УВГ. [1]

100% – 17905,82 кг/ч нефти,

1,1% – x кг/ч УВГ.

$$x = \frac{17905,82 \cdot 1,1}{100} = 196,96 \text{ кг/ч;}$$

3. Определим количество воды. В 100% нефти содержится 0,1% воды. [1]

100% – 17905,82 кг/ч нефти;

0,1% – x кг/ч воды.

$$x = \frac{17905,82 \cdot 0,1}{100} = 17,91 \text{ кг/ч;}$$

Определим количество отбензиненной нефти. В 100% нефти содержится 88% отбензиненной нефти. [1]

100% – 17905,82 кг/ч нефти,

88% – x кг/ч отбензиненной нефти.

$$x = \frac{17905,82 \cdot 88}{100} = 15757,12 \text{ кг/ч;}$$

Таблица 2.3 – Материальный баланс отбензинивающей ректификационной колонны К-1

Приход	% масс.	кг/час	Расход	% масс	кг/час
6. Нефть, в т.ч.	100	17905,82	8. Отбензиненная нефть		15757,12
6.1 Отбензиненная нефть;		15757,12			
6.2 Фракция 35-185 °С;	88	1933,83	11. Фракция 35-185 °С		1933,83
6.3 УВГ;	10,8	196,86			

6.4 Вода	1,1 0,1	17,91	9. УВГ		196,86
			10. Вода		17,91
Итого:		17905,82	Итого:		17905,82

Материальный баланс ректификационной колонны К – 2:

Определим количество фракции 35 – 185°С. В 100% отбензиненной нефти содержится 6,8% фракции 35-185°С.[1]

100% – 15757,12 кг/ч отбензиненной нефти,

6,8 % – x кг/ч фракции 35-185°С.

$$x = \frac{15757,12 \cdot 6,8}{100} = 911,91 \text{ кг/ч};$$

2. Определим количество фракции 280 – 350°С. В 100% отбензиненной нефти содержится 19% фракции 280 - 350°С.

100% – 15757,12 кг/ч отбензиненной нефти,

19 % – x кг/ч фракции 280 – 350°С.

$$x = \frac{15757,12 \cdot 19}{100} = 2993,85 \text{ кг/ч};$$

3. Определим количество фракции >350°С. В 100% отбензиненной нефти содержится 73% фракции >350°С. [1]

100% – 15757,12 кг/ч отбензиненной нефти,

73% – x кг/ч фракции >350°С.

$$x = \frac{15757,12 \cdot 73}{100} = 11502,70 \text{ кг/ч};$$

4. Определим количество УВГ. В 100% отбензиненной нефти содержится 1,1% УВГ. [1]

100% – 15757,12 кг/ч отбензиненной нефти

1,1% – x кг/ч УВГ

$$x = \frac{15757,12 \cdot 1,1}{100} = 173,33 \text{ кг/ч};$$

4. Определим количество воды. В 100% отбензиненной нефти содержится 0,1% воды. [1]

100% – 15757,12 кг/ч отбензиненной нефти;

0,1% – x кг/ч воды

$$x = \frac{15757,12 \cdot 0,1}{100} = 15,76 \text{ кг/ч};$$

Таблица 2.4 – Материальный баланс ректификационной колонны К-2

Приход	% масс.	кг/час	Расход	% ма с	кг/час
8.Отбензиненная нефть, в т.ч.: 8.1 Фракция 280-350°С 8.2 Фракция >350°С; 8.3 Фракция 35-185 °С; 8.4 УВГ; 8.5 Вода.	100	15757,12	13. Фракция 280-350°С		2993,85
			14. Фракция >350°С		11502,70
			17. Фракция 35-185 °С		1071,48
			15. УВГ		173,33
			16. Вода		15,76
Итого:		15757,12	Итого:		15757,12

Выбор числа и тип тарелок.

На основе опыта эксплуатации аналогичных аппаратов распределим следующим образом количество тарелок по фракциям: [5]

В исчерпывающей части колонны примем 4 тарелки $n_1 = 4$.

В укрепляющей части колонны – от зоны питания до тарелки вывода фракции 280-350 °С принимаем 10 тарелок (с 5 по 14 тарелку, считая снизу), $n_2 = 10$.

От тарелки вывода фракции 280 – 350°С до верха тарелки принимаем 11 тарелок (с 15 по 25), $n_3 = 11$.

Итого в колонне принято 25 тарелки, из которых в концентрационной части 21 шт., а в отгонной – 4 шт.

Тарелки выбираем ситчатого типа.

Давление и температура в колонне.

Примем абсолютное давление наверху колонны $P = 133,3$ кПа (1000 мм рт. ст.), перепад давления на одну ситчатую тарелку в концентрационной части колонны примем $\Delta P = 666,5$ Па (5 мм рт. ст.), в отгонной части 400 Па (3 мм рт. ст.). Рассчитаем давление в некоторых секциях колонны :

Давление на тарелке вывода фракции 280-350°С:

$$P_{280-350} = P_{\text{верха}} + \Delta P_T \cdot n_2 = 133,3 + 0,66 \cdot 10 = 140 \text{ кПа}$$

Давление на входе в колонну:

$$P_{\text{входа}} = P_{\text{верха}} + \Delta P_T \cdot (n_3 + n_2) = 133,3 + 0,66 \cdot (11+10) = 147 \text{ кПа};$$

Давление в низу колонны:

$$P_{\text{входа}} = P_{\text{верха}} + \Delta P_T \cdot (n_3 + n_2 + n_1) = 133,3 + [0,66 \cdot (11+10) + (4 \cdot 0,4)] = 149 \text{ кПа};$$

$$P_{280-350} = 140 \text{ кПа};$$

$$P_{\text{входа}} = 147 \text{ кПа};$$

$$P_{\text{низа}} = 149 \text{ кПа}.$$

Температура сырья на входе в атмосферную колонну составляет как правило, 340 – 360°С, что соответствует температуре отгона светлых фракций. Примем температуру сырья на входе в колонну 340°С. Температура мазута на выходе из колонны принимается по литературным данным на 15-25°С ниже температуры ввода сырья [5]. Примем 325°С.

Температуры потоков при ректификации сложных смесей определяем при помощи прямых однократного испарения (ОИ). Температуру верха колонны принимаем равной температуре конца однократного испарения бензина при его парциальном давлении паров наверху колонны. Температуру на тарелке вывода боковой фракции 280-350°С предварительно принимаем равной температуре начала однократного испарения отбираемой фракции при атмосферном давлении. Затем, из совместного решения уравнений материальных и тепловых балансов по сечениям над тарелкой вывода боковой фракции 280-350° находим парциальное давление нефтяных паров и уточняем температуру на тарелках вывода боковой фракции 280 – 350°.

Для определения парциального давления паров верхнего продукта предварительно задаемся расходом водяного пара в низ колонны в количестве 2% на сырье:

$$15757,12 \cdot 0,02 = 315,14 \text{ кг/ч}.$$

Характеристика водяного пара : абсолютное давление 0,5 МПа (500 кПа), температура 380°С, молекулярный вес 18.[6]

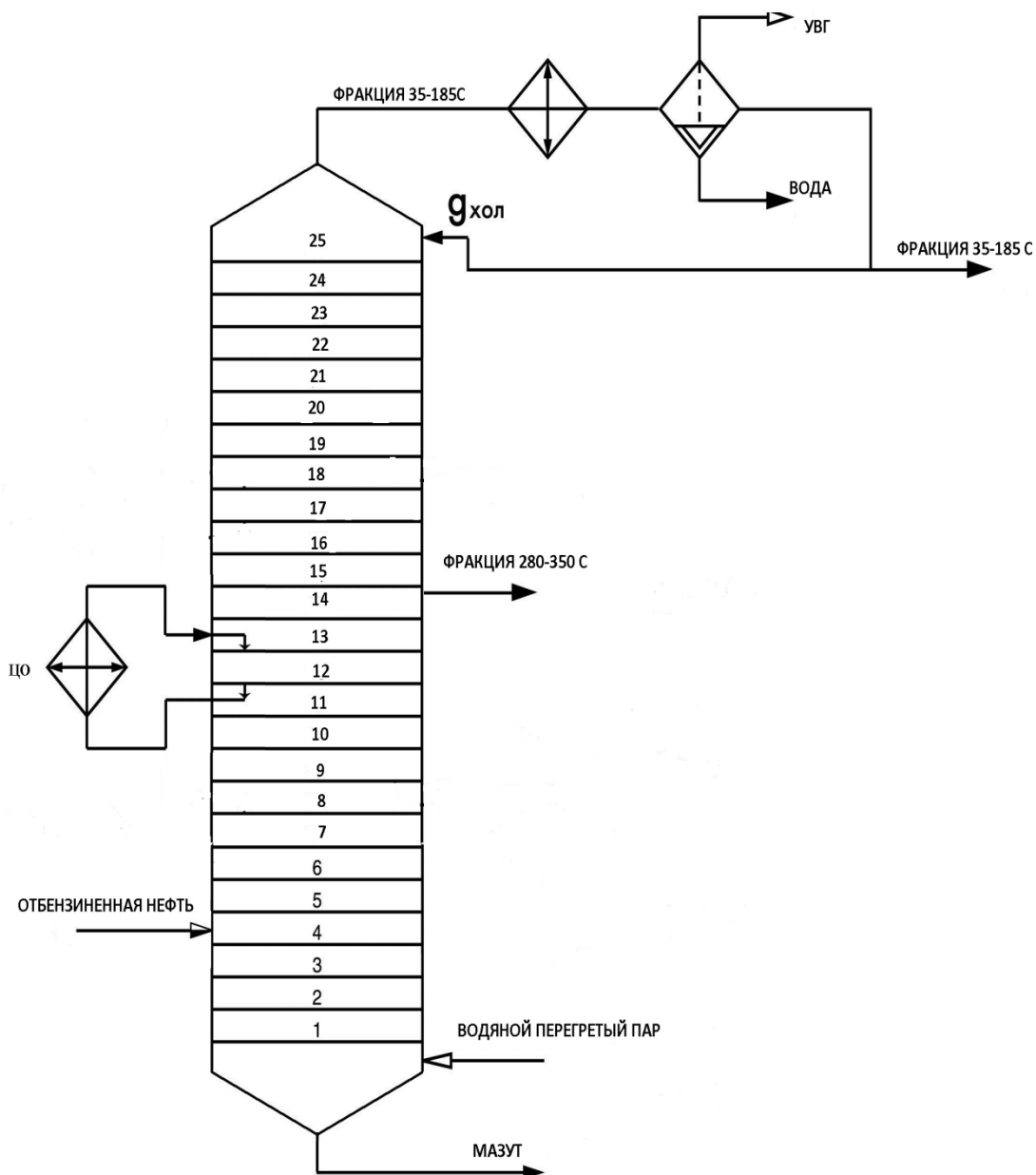


Рисунок 2.2 – К-2 Колонна ректификационная.

Парциальное давление бензиновых паров на верху колонны определяем по формуле:

$$P_B = \pi \frac{\frac{g_{хол} \cdot G_i}{M_i}}{\sum_l \frac{G_l \cdot g_{хол}}{M_l}}$$

где π – абсолютное давление на верху колонны, кПа;

M – молекулярный вес 170 [5]

g_x – количество острого холодного орошения. Принимаем предварительно кратность орошения 3:1, в этом случае $g_x = 3214,44$ кг/ч.

Парциальное давление фракции 35-185°C:

$$P_B = 133,3 \frac{\frac{3214,44 + 1071,48}{170}}{\frac{3214,44 + 1071,48}{170} + \frac{315,14}{18}} = 79 \text{ кПа. (592,5 мм.рт.ст.)}$$

Парциальное давление фракции 280-350°C

$$P_B = 133,3 \frac{\frac{2993,85}{253}}{\frac{2993,85}{253} + \frac{315,14}{18}} = 54 \text{ кПа. (405 мм.рт.ст.)}$$

Прямые ОИ фракций при атмосферном давлении строим по методу Обрядчикова и Смидович [3]. Для этого строим кривые ИТК фракций, затем определяем температуры отгона и наклон кривых ИТК

Таблица 2.5 – Исходные данные для построения кривой ИТК фракции 35–185°С [3]

Температура выкипания, оС	Выход, % масс.		
	На нефть	на фракцию	суммарный
35-60	4,6	13,1	13,1
60-85	4,7	13,1	26,2
85-105	4,1	16,3	42,5
105-125	4,8	16,3	58,8
125-145	4,7	14,7	73,5
145-160	5,2	14,7	88,2
160-185	3,4	11,8	100,0
ИТОГО	31,5	100,0	-

Таблица 2.6 – Исходные данные для построения кривой ИТК фракции 280-350°С

Температура выкипания, оС	Выход, % масс.		
	На нефть	на фракцию	суммарный
280-290	2,5	14,0	14,0
290-300	2,3	15,0	29,0
300-310	2,9	14,6	43,6
310-320	2,7	13,7	57,3
320-330	2,6	13,0	70,3
330-340	2,9	15,1	85,4
340-350	3,1	14,6	100,0
ИТОГО	19	100,0	–

Построив кривые ИТК и кривые ОИ для атмосферного давления (133,3 кПа), получаем температуры, отвечающие началу и концу линий однократного испарения соответствующей фракции.

Температуры 10,50 и 70%-ного отгона находим непосредственно по кривой ИТК. Определяем угол наклона. По двум значениям – углу наклона ИТК и температуре 50%-ного отгона находим на графике Обрядчикова – Смидович НОИ и КОИ.

По кривой ИТК фракции 35 – 185°С находим:

$$t_{\text{ИТК}10\%} = 31^{\circ}\text{С}, t_{\text{ИТК}50\%} = 94^{\circ}\text{С}, t_{\text{ИТК}70\%} = 120^{\circ}\text{С}$$

Рассчитываем угол наклона ИТК по формуле:

$$\text{tg}\langle\text{ИТК} = \frac{t_{70} - t_{10}}{70 - 10},$$

где t_{70} – температура отгона 70% фракции по ИТК, °С;

t_{10} – температура отгона 10% фракции по ИТК, °С.

$$\text{tg}\langle\text{ИТК} = \frac{120 - 31}{70 - 10} = 1,48$$

Затем по графику Обрядчикова – Смидович по данным $\text{tg}\langle\text{ИТК}$ находим по оси ординат степень отгона по ИТК, соответствующую 100% отгона по ОИ и степень отгона, соответствующую 0% отгона по ОИ.

0% (НОИ) – 25% (ИТК)

100% (КОИ) – 70% (ИТК)

Затем по кривой ИТК получаем температуры

$t_{\text{оинк}} = 58^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{оикк}} = 120^{\circ}\text{C}$

Соединяя полученные точки, получаем линию ОИ фракции 35 – 185°C при атмосферном давлении.

Затем с помощью графика Кокса находим температуры начала и конца линий ОИ при давлениях, равных парциальным давлениям соответствующей фракции.

Фракция 35-185°C

$t_{\text{оинк}} = 58^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{оикк}} = 120^{\circ}\text{C}$ при атмосферном давлении (1 атм. = 101,3 кПа)

$t_{\text{оинк}} = 80^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{оикк}} = 143^{\circ}\text{C}$ при парциальном давлении

Фракция 280-350°C

$t_{\text{оинк}} = 299^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{оикк}} = 308,5^{\circ}\text{C}$ при атмосферном давлении

$t_{\text{оинк}} = 309^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{оикк}} = 319,5^{\circ}\text{C}$ при парциальном давлении

Таким образом, температуры вывода фракций:

для фракции 35-185°C $t_{\text{выв}} = 143^{\circ}\text{C}$;

для фракции 280-350°C $t_{\text{выв}} = 309^{\circ}\text{C}$.

В таблице 2.7 приведен температурный режим колонны, исходя из которого составляем тепловой баланс, определяем количество избыточного тепла в колонне, которое должно быть снято орошениями.

Таблица 2.7 – Температурный режим колонны

Точка замера	t, °C
Верх колонны	143
Флегма с 14-й тарелки	309
Пары под 14-й тарелкой	319
Флегма с 12-й тарелки	316
Пары под 12-й тарелкой	326
Флегма с 5-й тарелки	325
Пары под 5-й тарелкой	335
Ввод сырья в колонну	340
Низ колонны	325
Ввод верхнего острого орошения	40
Вход циркуляционного орошения	110
Водяной пар (ввод)	380

Разность температур между встречными потоками паров и флегмы примем равной 10°C, исходя из литературных данных.

Долю отгона сырья на входе в колонну рассчитываем по методу А. М. Трегубова. Для этого путем последовательного приближения подбираем такое значение мольной доли отгона сырья e' , при котором выполняется тождество:

$$\sum \frac{c'_i}{1 + e' \left(\frac{p_i}{\pi} - 1 \right)} = \sum x'_i = 1$$

где e – мольная доля отгона;

G_i – выход фракции на сырье колонны;

c_i – массовая доля отдельных фракций в отбензиненной нефти;

c'_i, x'_i, y'_i – мольные доли отдельных фракций в сырье, в жидкой и паровой фазах сырья;

M_i – молекулярный вес отдельных фракций;

$\pi_{вх}$ – абсолютное давление в зоне питания, кПа;

P_i – давление насыщенных паров отдельных фракций при температуре ввода сырья в колонну, кПа. Определяем по формуле Ашворта:

$$\lg(P - 3158) = 7.6715 - \frac{2.68 \cdot f(T)}{f(T_0)}$$

Расчет доли отгона проводим при температуре входа сырья в колонну $t_{вх} = 340^\circ\text{C}$ и давлении $\pi = \pi_{вх}$, которое определяем по формуле:

$$\pi_{вх} = \pi_{вх.} + \Delta p_m, \text{ кПа}$$

где $\pi_{вх.} = 147$ кПа

Δp_m – перепад давления на расширение потока сырья при входе в колонну, примем $\Delta p_m = 12,7$ кПа, тогда:

$$\pi_{вх} = 147 + 12,7 = 159,7 \text{ кПа.}$$

Определение молярной доли отгона нефти на входе в колонну при температуре 340°C и давлении $159,7$ кПа. Задаемся $e' = 0,81$.

Таблица 2.8 – Определение доли отгона

Пределы выкипания	$T_{ср}$	M_i	G_i	$c_i = G_i/M_i \cdot 10^3$	$c'_i = \frac{c_i}{\sum c_i}$	$P_i, \text{кПа}$	$K_{P_i} = P_i/\pi_{вх}$
35 – 185 °C	136	170		4,71		3190,23	20,45
280-350°C	314	253		0,61		216,92	1,39
350	443	440		1,66		15,72	0,10
Итого				6,98			

Продолжение таблицы 2.8

$K_{P_i} - 1$	$e'(K_{P_i} - 1)$	$1 + e'(K_{P_i} - 1)$	x'_i	y'_i	$y'_i \cdot M_i$
19,45	15,76	15,76	0,04	0,82	139,02
0,39	0,32	1,32	0,07	0,1	24,05
- 0,9	-0,73	0,27	0,89	0,08	38,97
			1,00	1,00	202,04

Определим давление насыщенных паров для фракций:

35-185°C

По номограмме [10] определим $f(T_0)$ при $t = 136^\circ\text{C}$ и $f(T)$ при $t = 353^\circ\text{C}$

$$f(T_0) = 5,01 \quad f(T) = 2,17$$

$$\lg(P - 3158) = 7.6715 - 2.68 \cdot 2,17/5,01 = 3190,23 \text{ кПа}$$

280-350°C

По номограмме определим $f(T_0)$ при $t = 314^\circ\text{C}$ и $f(T)$ при $t = 353^\circ\text{C}$

$$f(T_0) = 2,49 \quad f(T) = 2,17$$

$$\lg(P - 3158) = 7.6715 - 2.68 \cdot 2,17/2,49 = 216,92 \text{ кПа}$$

350°C
По номограмме определим $f(T_0)$ при $t = 443^\circ\text{C}$ и $f(T)$ при $t = 353^\circ\text{C}$

$$f(T_0) = 1,63 \quad f(T) = 2,17$$

$$\lg(P - 3158) = 7.6715 - 2.68 \cdot 2,17/1,63 = 15,72 \text{ кПа}$$

Мольную долю фракции в жидкой фазе определяем по формуле:

$$x'_i = \frac{c'_i}{1 + e'(KPi - 1)}$$

$$x'_{i35-185} = \frac{0,67}{1+0,81 \cdot 19,45} = 0,04;$$

$$x'_{i280-350} = \frac{0,09}{1+0,81 \cdot 0,32} = 0,07;$$

$$x'_{i350} = \frac{0,24}{1+0,81 \cdot 0,9} = 0,89.$$

Мольную долю фракции в паровой фазе определяем по формуле:

$$y'_i = KPi \cdot x'_i$$

$$y'_{i35-185} = 20,45 \cdot 0,04 = 0,82;$$

$$y'_{i280-350} = 1,39 \cdot 0,07 = 0,01;$$

$$y'_{i85-180} = 0,1 \cdot 0,89 = 0,08.$$

Таблица 2.9 – Теплофизические свойства потоков.[1]

Поток	Молекулярный вес	Относительная плотность d_4^{20} , г/см ³	Температура °C	Энтальпия, кДж/кг	
				Н _ж	Н _п
Отбензиненная нефть	275,5	0,740	340	895,67	1105,58
35-185°C	170	0,711	143		635,91
280-350°C	253	0,825	209	452,67	
>350°C	440	0,875	325	771,73	
Водяной пар	18	-	380		3239,29
Водяной пар	18	-	158		2762,6

При энтальпию жидких нефтепродуктов при температуре T находят по уравнению Крэга: [3]

$$H_{i15}^* = \frac{1}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}} \cdot (0,0017T^2 + 0,762T - 334,25), \text{ кДж/кг.}$$

Обозначая выражение в скобках $a = (0,0017T^2 + 0,762T - 334,25)$, можно упростить уравнение:

$$H_{i15}^* = \frac{1}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}} \cdot a;$$

Плотность ρ_{15}^{15} находится по формуле

$$\rho_{15}^{15} = \rho_4^{20} + 5 \cdot a,$$

где a - средняя температурная поправка на один градус.

$$\rho_{15}^{15} \text{ отб. нефти} = 0,740 + 5 \cdot 0,000844 = 0,744,$$

$$\rho_{15}^{15} \text{ фр. 35-185}^\circ\text{C} = 0,711 + 5 \cdot 0,000897 = 0,715,$$

$$\rho_{15}^{15} \text{ фр. 280-350}^\circ\text{C} = 0,825 + 5 \cdot 0,000738 = 0,829,$$

$$\rho_{15}^{15} \text{ фр. > 350}^\circ\text{C} = 0,875 + 5 \cdot 0,000673 = 0,878.$$

$$H_{t_{отб.неф.}}^ж = \frac{1}{\sqrt{0,744}} \cdot 770,28 = 895,67 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$H_{t_{фр.280-350^{\circ}\text{C}}}^ж = \frac{1}{\sqrt{0,829}} \cdot 427,05 = 452,67 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$H_{t_{фр.>350^{\circ}\text{C}}}^ж = \frac{1}{\sqrt{0,878}} \cdot 728,05 = 771,73 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

a – прил. 14[3]

Энтальпию паров нефтепродуктов определяют по уравнению Итона

$$H_t^n = (129,58 + 0,134T + 0,00059T^2) \cdot (4 - \rho_{15}^{15}) - 308,99, \text{ кДж/кг.}$$

Это уравнение также можно упростить, обозначив

$$b = (129,58 + 0,134T + 0,00059T^2).$$

$$\text{Тогда } H_t^n = b \cdot (4 - \rho_{15}^{15}) - 308,99;$$

$$H_{t_{отб.неф.}}^п = 434,273(4 - 0,744) - 308,99 = 1105,58 \text{ кДж/кг};$$

$$H_{t_{фр.35-185^{\circ}\text{C}}}^п = 287,64(4 - 0,715) - 308,99 = 635,91 \text{ кДж/кг};$$

$$H_{t_{380^{\circ}\text{Свод.пар.}}}^п = 3239,29 \text{ кДж/кг}$$

$$H_{t_{158^{\circ}\text{Свод.пар.}}}^п = 2762,6 \text{ кДж/кг.}$$

b – прил.16 [11]

2.1.2. Тепловой расчет

$$Q_{вх} = Q_{вых}, [5].$$

где $Q_{вх}$ и $Q_{вых}$ - тепловой поток, соответственно входящий и выходящий из колонны, Вт (1 Вт = 1 Дж/с).

Тепловой поток поступает в колонну:

1. С сырьем, нагретым до температуры t_0 , подачи сырья в парожидкостном состоянии с массовой долей отгона e .

$$Q_0 = G_0 e H_{t_0}^п + G_0 (1 - e) H_{t_0}^ж,$$

где $H_{t_0}^п$ - энтальпия паров сырья, кДж/кг;

$H_{t_0}^ж$ - энтальпия жидкости сырья, кДж/кг;

$$Q_0 = 15757,12 \cdot 0,71 \cdot 1105,58 + 15757,12(1 - 0,81) \cdot 895,67 = 16461559,38 \text{ кДж/ч} = 4572,66 \text{ кВт.}$$

С нижним орошением (водяным паром) – $Q_{ор}$.

$$Q_{ор} = G_{в.п} H_{в.п}^ж,$$

$$Q_{ор} = 315,14 \cdot 2304,00 = 726082,56 \text{ кДж/ч} = 201,69 \text{ кВт.}$$

Суммарный тепловой поток, входящий колонну,

$$Q_{вх} = Q_0 + Q_{ор},$$

$$Q_{вх} = 4572,66 + 201,69 = 4774,35 \text{ кВт.}$$

Тепловой поток выходит из колонны:

1. С парами дистиллята

$$Q_D = G_D \cdot H_{t_D}^п,$$

$$Q_D = 1071,48 \cdot 728,68 = 780766,05 \text{ кДж/ч} = 216,88 \text{ кВт.}$$

2. С фракцией 280-350°

$$Q_{280-350} = 2993,85 \cdot 636,92 = 1906842,94 \text{ кДж/ч} = 529,68 \text{ кВт.}$$

3. С жидким нижним продуктом

$$Q_W = G_W H_{TW}^{\text{ж}},$$

$$Q_W = 11502,70 \cdot 762,65 = 8772534,16 \text{ кДж/ч} = 2436,82 \text{ кВт.}$$

4. С водяным паром

$$Q_{\text{ор}} = G_{\text{в.п}} H_{\text{в.п}}^{\text{ж}},$$

$$Q_{\text{ор}} = 315,14 \cdot 2762,6 = 870605,76 \text{ кДж/ч} = 241,83 \text{ кВт.}$$

Суммарный тепловой поток, покидающий колонну,

$$Q_{\text{вых}} = Q_D + Q_{280-350} + Q_W + Q_{\text{в.п}}$$

$$Q_{\text{вых}} = 216,88 + 529,68 + 2436,82 + 241,83 = 3425,21 \text{ кВт.},$$

Таблица 2.10 – Тепловой баланс колонны К-2

Поток	Количество тепла, кВт
Приход	
Отбензиненная нефть в парах ($\epsilon=0,71$) в жидкости	4572,66
Водяной пар	201,69
Итого	4774,35
Расход	
Фракция 35-185°C	216,88
Фракция 280-350°C	529,68
Фракция >350°C	2436,82
Водяной пар	241,83
Итого	3425,21

Общее количество тепла, которое необходимо отнять орошением:

$$\Delta Q = Q_{\text{ПРИХ}} - Q_{\text{РАСХ}} = 4774,35 - 3425,21 = 1349,14 \text{ кВт.}$$

Этот избыток тепла в колонне снимем острым орошением сверху колонны и одним промежуточным циркуляционным орошением под тарелкой отбора бокового погона. Количество тепла, снимаемого отдельными орошениями, равно минимальному теплу, необходимому для охлаждения и конденсации продуктов в данной секции колонны. Тепло циркуляционных орошений обычно используется для нагрева сырой нефти.

Внутренние материальные потоки:

G_{13} и G_{25} – пары, поднимающиеся с 13-й и 25-й тарелки;

$g_{\text{хол}}$ – холодное орошение, подаваемое на верхнюю тарелку;

$$G_{25} = D_2 + g_{\text{хол}} + Z_{25}.$$

Z_{13} – водяные пары, поднимающиеся с 13-й тарелки.

Z_{25} – водяные пары, поднимающиеся с 25-й тарелки.

Тепловой баланс:

$$D i_{T13}^{\text{п}} + Z_{13} i_{T13}^{\text{п}} + g_{\text{хол}} H_{\text{хол}}^{\text{ж}} = D H_{TD}^{\text{п}} + g_{\text{хол}} H_{T25}^{\text{п}} + Z_{13} i_{TD}^{\text{п}}.$$

Отсюда:
$$g_{\text{хол}} = \frac{Q_{\text{хол}}}{H_{TD}^{\text{п}} - H_{\text{хол}}^{\text{ж}}}.$$

$$Q_{\text{хол}} = D(H_{T13}^{\text{п}} - H_{TD}^{\text{п}}) + Z_{13}(i_{T13}^{\text{п}} - i_{TD}^{\text{п}}).$$

где $t_{13} = 309^{\circ}\text{C}$; $t_D = 143^{\circ}\text{C}$.

$i_{13} = 3094,59$ кДж/кг.

$H_{t_{\text{фр.35}} - 185^{\circ}\text{C}(309^{\circ}\text{C})}^n = 407,46(4-0,715) - 308,99 = 1029,52$ кДж/кг;

$$H_{\text{хол}}^{\text{ж}} = \frac{1}{\sqrt{0,715}} \cdot 70,26 = 82,66 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$Q_{\text{хол}} = 1071,48 (1029,52 - 635,91) + 315,14 (3094,58 - 2762,58) = 526371,72$ кДж/ч = 146,21 кВт.

$$g_{\text{хол}} = \frac{526371,72}{635,91 - 82,66} = 951,42 \text{ кг/ч.}$$

Количество флегмы стекающей с 26-й тарелки:

$$g_{25} = \frac{Q_{\text{хол}}}{H_{T_{24}}^n - H_{T_{25}}^{\text{ж}}},$$

$$g_{25} = \frac{526371,72}{656,54 - 324,94} = 1587,37 \text{ кг/ч.}$$

$t_{25} = 153^{\circ}\text{C}$

$H_{T_{25}}^n = 293,95(4-0,715) - 308,99 = 656,54$ кДж/кг;

$$H_{t_{\text{фр.35}} - 185^{\circ}\text{C}}^{\text{ж}} = \frac{1}{\sqrt{0,715}} \cdot 276,20 = 324,94 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

Флегмовое число:

$$\Phi_{25} = g_{25} / D = 1587,37 / 1071,48 = 1,5$$

Количество нефтяных $G_{\text{в}}$ паров:

$$G_{\text{в}} = (g_{\text{хол}} + D) = 951,42 + 1071,48 = 2022,9 \text{ кг/ч}$$

Объем паров наверху колонны:

$$V_{\text{в}} = \left(\frac{G_{\text{в}}}{M_{\text{H}}} + \frac{L_{\text{ВП}}}{18} \right) \frac{22,4 (t+273) \cdot 101,3}{3600 \cdot 273 \cdot P},$$

где $G_{\text{в}}$ и $L_{\text{ВП}}$ – количество нефтяных и водяных паров,

M_{H} и 18 – молекулярные массы нефтепродукта и воды,

t – температура в рассчитываемом сечении,

P – давление в рассчитываемом сечении, Мпа,

$$V_{\text{в}} = \left(\frac{2022,9}{170} + \frac{315,14}{18} \right) \frac{22,4 (143+273) \cdot 101,3}{3600 \cdot 273 \cdot 133,3} = 2,12 \text{ м}^3/\text{с}$$

Плотность паровой и жидкой фазы:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{2022,9 + 315,14}{2,12 \cdot 3600} = 3,1 \text{ кг/м}^3; \rho_4^{20} = 0,711;$$

$$\rho_{\text{ж}} = 0,711 - 0,000884 (143 - 20) = 602 \text{ кг/м}^3$$

Нагрузка тарелки по жидкости:

$$L_{\text{ж}} = \frac{g_{25}}{\rho_{\text{ж}}};$$

$$L_{\text{ж}} = \frac{1587,37}{602} = 2,64 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Количество тепла, снимаемое первым циркуляционным орошением:

$$Q_{\text{цо}} = Q_{\text{ор}} - Q_{\text{хол}},$$

$$Q_{\text{цо}} = 1349,14 - 20,71 = 1328,43 \text{ кВт} = 4782348 \text{ кДж/ч.}$$

Количество циркуляционного орошения:

$$g_{\text{цо}} = \frac{Q_{\text{цо}}}{H_{12}^{\text{ж}} - H_{110}^{\text{ж}}}$$

$$H_{110}^{\text{ж}} = \frac{1}{\sqrt{0,878}} \cdot 206,27 = 219,44 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$g_{\text{ц0}} = \frac{4782348}{771,73 - 219,44} = 8659,12 \text{ кг/ч.}$$

Количество флегмы, стекающей с 12-й тарелки на 11-ю:

$$g_{12} = \frac{Q_{\text{ц0}}}{H_{\text{T11}}^{\text{п}} - H_{\text{T12}}^{\text{ж}}} \quad \backslash$$

$$g_{12} = \frac{4782348}{1007,59 - 771,73} = 20276,21 \text{ кг/ч.}$$

$$H_{\text{T11}}^{\text{п}} = 421,71(4-0,878) - 308,99 = 1007,59 \text{ кДж/кг;}$$

Флегмовое

число:

$$\Phi_{12} = \frac{20276,21}{1071,48 + 2993,85} = 0,5$$

2.1.3. Гидравлический расчет ректификационной колонны

Гидравлическое сопротивление тарелок колонны ΔP_k определяется по формуле

$$P_k = \Delta P_{\text{в}} \cdot N_{\text{в}} + \Delta P_{\text{н}} \cdot N_{\text{н}}$$

где $\Delta P_{\text{в}}, \Delta P_{\text{н}}$ – полное гидравлическое сопротивление тарелки соответственно верхней и нижней части, Па

Полное гидравлическое сопротивление складывается из 3х частей:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{н}} + \Delta P_{\sigma}$$

где $\Delta P_{\text{с}}$ - гидравлическое сопротивление сухой тарелки

$\Delta P_{\text{н}}$ - гидравлическое сопротивление газожидкостного слоя на тарелке

ΔP_{σ} - гидравлическое сопротивление, обусловленное силами поверхностного натяжения. Сопротивление за счет поверхностного натяжения жидкости для тарелок незначительно и им допускается пренебречь.

Гидравлическое сопротивление сухой тарелки рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_{\text{с}} = \xi \frac{\rho_{\text{г}} \cdot \omega^2}{2 \cdot F_{\text{с}}^2}$$

где ξ - коэффициент сопротивления сухой тарелки, коэффициент сопротивления сухих тарелок принимается для клапанных тарелок от 4 до 6.

ω - средняя скорость движения паров в колонне, м/с

$\rho_{\text{г}}$ - средняя плотность паров в колонне, кг/м³

$F_{\text{с}}$ - доля свободного сечения тарелки, м²/м² = 0,126 м²/м²

$$\text{Тогда } \Delta P_{\text{с}} = 4 \frac{3,1 \cdot 0,89}{2 \cdot 0,126^2} = 92 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление газожидкостного слоя (пены) на тарелке:

$$\Delta P_n = h_0 \cdot \rho_x \cdot g$$

где g - ускорение свободного падения, м/с²

ρ_x - средняя плотность в колонне, кг/м³

h_0 - высота барботажного слоя жидкости на тарелке, определяется по справочным данным (для тарелки выбранного типа $h_n = 0,03$ м), м.

$$\Delta P_n = 0,03 \cdot 788 \cdot 9,8 = 231,67 \text{ Па}$$

Сопротивление, вызываемое силами поверхностного натяжения:

$$\Delta P_\sigma = 4 \cdot \sigma / d_\sigma$$

где σ - поверхностное натяжение, н/м²

d_σ - эквивалентный диаметр отверстия, м

$$\Delta P_\sigma = 4 \cdot 0,216 / 0,06 = 14,4 \text{ Па}$$

Тогда полное гидравлическое сопротивление:

$$\Delta P = 92 + 231,67 + 14,4 = 338,07 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление колонны:

$$\Delta P_k = 338,07 \cdot 25 = 8451,75 \text{ Па} = 0,085 \text{ кгс/см}^2$$

2.2. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ КОЛОННЫ

2.2.1. Расчет диаметра колонны

$$D_k = \sqrt{\frac{4v}{3,14 \cdot \omega_{max}}};$$

Максимальная допустимая скорость паров:

$$\omega_{max} = 8,47 \cdot 10^{-5} \cdot C_{max} \sqrt{\frac{\rho_{жс} - \rho_n}{\rho_n}}, \text{ м/с.}$$

где C_{max} – коэффициент, зависящей от типа тарелки, расстояния между тарелками, нагрузки по жидкости;

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

Коэффициент λ находим из следующего выражения:

$$\lambda = \frac{0,655 L_{жс}}{n} \cdot \sqrt{\frac{K_1 \cdot C_1}{V_6 \cdot 3600} \sqrt{\frac{\rho_{жс} - \rho_n}{\rho_n}}},$$

где $L_{жс}$ – нагрузка тарелки по жидкости, м³/ч;

V_B – объемный расход паров в данном сечении $m^3/ч$;
 n – число потоков жидкости на тарелке.

Примем к установке тарелки ситчатые прямооточные, расстояние между тарелками 600 мм, число потоков по жидкости на тарелке равным двум. Тогда $K_1 = 1,15$ (для ситчатых тарелок), $C_1 = 765$, $K_2 = 1,0$ (для атмосферных колонн при расстоянии между тарелками более 350 мм), $K_3 = 4,0$ (для любых тарелок, кроме струйных).

$$\lambda = \frac{0,655 \cdot 2,64}{2} \cdot \sqrt{\frac{1,15 \cdot 765}{2,12 \cdot 3600} \sqrt{\frac{602-3,1}{3,1}}} = 4,06;$$

$$C_{max} = 1,15 \cdot 765 \cdot 1,0 - 4(4,06 - 35) = 1003,51;$$

$$\omega_{max} = 8,47 \cdot 10^{-5} \cdot 1003,51 \sqrt{\frac{602-3,1}{3,1}} = 1,18 \text{ м/с.}$$

Диаметр колонны:

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,12}{3,14 \cdot 1,18}} = 1,51 \text{ м.}$$

Рассчитав минимальный диаметр колонны, выбираем ближайший больший стандартный диаметр, используя ГОСТ 21944 – 76. $D_k = 1,6 \text{ м}$.

Проверяем скорость паров при принятом диаметре колонны:

$$\omega_{п} = \frac{4 \cdot V_g}{\pi \cdot D_k^2} = \frac{4 \cdot 2,12}{3,14 \cdot 1,6^2} = 1,05 \text{ м/с.}$$

Она находится в допустимых пределах (0,6-1,15 м/с) для атмосферных колонн и расстоянии между тарелками 600 мм.

Тарелки ректификационные ситчатые однопоточные стальные разборные (по ОН 26-02-29—66) из стали марки 0X13 исполнения I $D_e = 1600 \text{ мм}$ к $h_p = 600 \text{ мм}$: «Тарелка 1-1600—600—0X13 ОН 26-02-29—66» [15]

Проверяем нагрузку по жидкости:

$$L_v = \frac{L_{ж}}{\rho \cdot \Omega \cdot D_k};$$

$$L_v = \frac{2,64}{2 \cdot 0,7 \cdot 1,6} = 1,18 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч}),$$

где Ω - относительная длина слива, обычно находится в пределах 0,65-0,75. Полученное значение расхода жидкости на единицу длины слива меньше максимально допустимого, которое составляет для данного типа тарелок

$$L_v^{don} = 65 \text{ м}^3/(\text{м} \times \text{ч}).$$

2.2.2. Расчет высоты колонны

Высота ее верхней части (над верхней тарелкой) определяется по формуле:

$$H_1 = 0,5 \times d_1,$$

где d_1 - диаметр верхней части колонны.

Высота части колонны от ввода сырья до верхней тарелки складывается из высот "колонок" отвечающих выводу отдельных фракций. Расчет ведется на

основе числа тарелок в этих "колонках" и с учетом расстояния между этими тарелками ($D_h = 0,6 \text{ м}$):

$$H = (N - 1) \times D_h$$

Отсюда

$$H_1 = 0,5 \cdot 0,6 = 0,3 \text{ м};$$

$$H_2 = (10 - 1) \cdot 0,6 = 5,4 \text{ м};$$

$$H_3 = (11 - 1) \cdot 0,6 = 6 \text{ м};$$

$$H_4 = (2 \dots 3) \cdot Dh$$

$$H_4 = 3 \cdot 0,6 = 1,8 \text{ м};$$

$$H_5 = (N1 - 1) \cdot Dh;$$

$$H_5 = (4 - 1) \cdot 0,6 = 1,8 \text{ м};$$

$H_6 = 1,5 - 2 \text{ м}$ – расстояние до уровня жидкости от нижней тарелки в низу колонны. Принимаем 2м.

H_7 – определяется в зависимости от объема жидкости в низу колонны; высота должна обеспечивать работу насоса в течение 10 мин после прекращения подачи нефти на установку.

$$V = \frac{g_M \cdot 10}{60 \cdot \rho_M};$$

Площадь поперечного сечения колонны:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4};$$

$$H_7 = \frac{V}{S};$$

$$V = \frac{11502,70 \cdot 10}{60 \cdot 875} = 2,19 \text{ м}^3;$$

$$S = \frac{3,14 \cdot 1,6^2}{4} = 2,01 \text{ м}^2;$$

$$H_7 = \frac{2,19}{2,01} = 1 \text{ м}.$$

Общая высота колонны равна:

$$H = 0,3 + 5,4 + 6,0 + 1,8 + 1,8 + 2 + 1 = 16,5 \text{ м}.$$

2.2.3. Расчет патрубков

Присоединение трубной арматуры к аппарату, а также технологических трубопроводов для подвода и отвода различных жидких и газообразных продуктов производится с помощью штуцеров или вводных труб. По условиям работоспособности чаще всего применяются разъемные соединения (фланцевые штуцера).

В химических аппаратах для разъемного соединения составных корпусов и отдельных частей применяются фланцевые соединения, преимущественно круглой формы. На фланцах присоединяются к аппаратам трубы, арматура и т.д.

Примем скорость для жидкости 1 м/с, для пара - 20 м/с.

1. Патрубок ввода исходной смеси:

$$d_1 = \sqrt{\frac{\frac{G \cdot 1000}{24 \cdot 3600}}{0,785 \cdot \rho_{ж} \cdot W}},$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{\frac{15757,12 \cdot 1000}{24 \cdot 3600}}{0,785 \cdot 740 \cdot 1}} = 0,50 \text{ м} = 500 \text{ мм}.$$

Принимаем стандартный диаметр патрубка с $d_{y1} = 500 \text{ мм}$. [5]

2. Патрубок отвода паров фракции 35-185°C:

$$d_2 = \sqrt{\frac{\frac{1071,48 \cdot 1000}{24 \cdot 3600}}{0,785 \cdot 3,1 \cdot 20}} = 0,505 \text{ м} = 505 \text{ мм.}$$

Принимаем стандартный диаметр патрубка $d_2 = 500$ мм.

3 . Патрубок отвода фракции 280 – 350°C:

$$d_3 = \sqrt{\frac{\frac{2993,85 \cdot 1000}{24 \cdot 3600}}{0,785 \cdot 825 \cdot 1}} = 0,23 \text{ м} = 230 \text{ мм.}$$

Принимаем стандартный диаметр патрубка $d_3 = 250$ мм.

4 . Патрубок отвода фракции > 350°C:

$$d_4 = \sqrt{\frac{\frac{11502,70 \cdot 1000}{24 \cdot 3600}}{0,785 \cdot 875 \cdot 1}} = 0,44 \text{ м} = 440 \text{ мм.}$$

Принимаем стандартный диаметр патрубка $d_4 = 450$ мм.

5 . Патрубок ввода флегмы:

$$d_5 = \sqrt{\frac{\frac{1587,37 \cdot 1000}{24 \cdot 3600}}{0,785 \cdot 711 \cdot 1}} = 0,03 \text{ м} = 33 \text{ мм.}$$

Принимаем стандартный диаметр патрубка $d_5 = 40$ мм.

6. Патрубок ввода парового орошения:

$$d_6 = \sqrt{\frac{\frac{315,14 \cdot 1000}{24 \cdot 3600}}{0,785 \cdot 3,4 \cdot 20}} = 0,26 \text{ м} = 260 \text{ мм.}$$

Принимаем стандартный диаметр патрубка $d_6 = 250$ мм.

Принимаем стандартные размеры болтов и фланца, рекомендуемые по ГОСТ 1255-67.

2.3 ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ

Механический расчет колонны

Исходные данные:

Рабочее давление в колонне::

$$P := 0.13 \text{ МПа}$$

Расчетная температура: °C

$$t_{\text{раб}} := 350$$

Внутренний диаметр верха аппарата:

$$D_1 := 1600 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр низа аппарата:

$$D_2 := 1600 \text{ мм}$$

Высота аппарата:

$$H := 16.500$$

Высота эллиптической крышки:

$$H_4 := 400 \text{ мм}$$

Высота эллиптического днища:

$$H_5 := 400 \text{ мм}$$

Материал аппарата сталь 12X18H10T

Данный материал выбран из следующих соображений:

Сталь 12X18H10T применяется для изготовления аппаратов и сосудов, работающих в разбавленных растворах кислот, щелочей и солей под давлением при температуре от -196°C до +600°C.

Основные свойства материала:

Плотность стали 12X18H10T:

$$\rho_{\text{мет}} := 7920 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Допускаемое напряжение материала 12X18H10T при температуре 20 градусов (температура гидроиспытаний): [5]

$$\sigma_{\text{тек}20} := 300 \text{ МПа}$$

коэффициент запаса по пределу текучести для условий испытаний:

$$n_t := 1.1$$

Поправочный коэффициент η :

$$\eta := 1$$

Допускаемое напряжение для условий испытаний:

$$\sigma_{\text{и}20} := \text{ceil}\left(\eta \cdot \frac{\sigma_{\text{тек}20}}{n_t}\right) = 273 \text{ МПа}$$

Согласно [5] определяем допускаемое напряжение материала 12X18H10T при температуре 350⁰с:

$$\sigma_{\text{Д}} := \text{Floor}\left[\text{linterp}\left[\left(\begin{array}{c} 145 \\ 200 \end{array}\right), \left(\begin{array}{c} 171 \\ 165 \end{array}\right), t_{\text{раб}}\right], 0.5\right] = 148.5 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности сварных швов (Сварка аппарата полуавтоматическая): длина шва 100% (Назначили конструктивно) [5]

$$\phi := 1$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

Прибавку к расчетным толщинам находим согласно [5]

Скорость коррозии материала аппарата определяем от действия заданной среды:

$$\Pi := 0.1 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau := 20 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := \Pi \cdot \tau = 2 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 1.4 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 3.4 \text{ мм}$$

Расчет давлений необходимых для дальнейшего расчета:

Гидростатическое давление в аппарате:

Плотность воды при гидроиспытаниях (температура 20 °C), [6]

$$\rho_{\text{вод}} := 998 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Ускорение свободного падения:

$$g := 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Высота гидравлического столба в аппарате принимаем равной высоте аппарата.

$$H_{\text{гид}} := H = 16.5 \quad \text{м}$$

Давление гидравлического столба при гидроиспытаниях [6]:

$$P_{\text{гид}} := \frac{g \cdot H_{\text{гид}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{10^6} = 0.161 \quad \text{МПа}$$

Расчетное давление в аппарате при рабочих условиях:

$$P_{\text{рас}} := (P + P_{\text{гид}}) = 0.291 \quad \text{МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях:

$$P_{\text{и}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}}}{\sigma_{\text{Д}}} = 0.67 \quad \text{МПа}$$

Условное давление:

$$P_{\text{усл}} := P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{и20}}}{\sigma_{\text{Д}}} = 0.536 \quad \text{МПа}$$

Расчет толщины стенок

Согласно [8], определяем толщины стенок обечайки, днища, крышки, конического перехода проводим проверку на прочность стенок корпуса аппарата.

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (кожуха): $D_1 = 1.6 \times 10^3$ мм

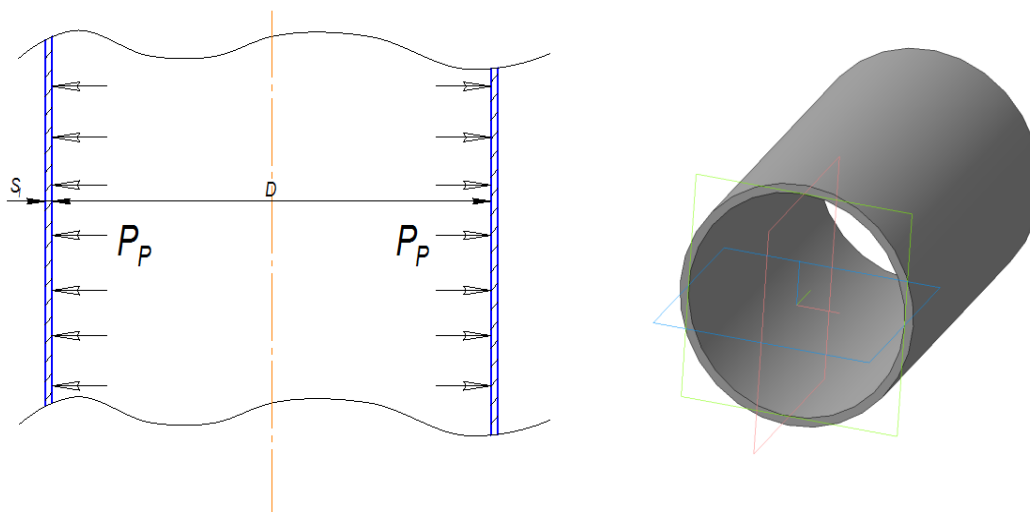


Рисунок 2.3.1 - Расчетная схема обечайки.

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left(\left(P_{рас} \cdot \frac{D_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д} - P_{рас}} \right), \left(P_{н} \cdot \frac{D_1}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{н20} - P_{н}} \right) \right) = 1.965 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_{н1} := s_{p1} + c = 5.365 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин

$$s_1 := 14 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории [8]:

$$\text{Проверка}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмомент. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D_1} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D_1} > 0.1 \end{cases}$$

Проверка₁ = "Условия применения формул безмомент. теории выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D_1 + (s_1 - c)} = 1.955 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и1} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D_1 + (s_1 - c)} = 3.593 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления при рабочих условиях: [8]

$$\text{Проверка}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₂ = "Условие прочности стенки выполняется"

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления при гидраиспытаниях: [8]

$$\text{Проверка}_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{и1} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₃ = "Условие прочности стенки выполняется"

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (кожуха): $D_2 = 1.6 \times 10^3$ мм

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p2} := \max \left(\left(\frac{P_{рас} \cdot D_2}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_{рас}} \right), \left(\frac{P_{и} \cdot D_2}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - P_{и}} \right) \right) = 1.965 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 5.365 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин

$$s_2 := 14 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории [8]:

$$\text{Проверка}_4 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмомент. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D_2} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_2 - c}{D_2} > 0.1 \end{cases}$$

Проверка₄ = "Условия применения формул безмомент. теории выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{D_2 + (s_2 - c)} = 1.955 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и2} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{D_2 + (s_2 - c)} = 3.593 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления при рабочих условиях: [8]

$$\text{Проверка}_5 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д2} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₅ = "Условие прочности стенки выполняется"

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления при гидраиспытаниях: [8]

$$\text{Проверка}_6 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{и2} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₆ = "Условие прочности стенки выполняется"

Расчёт эллиптической крышки диаметром 1600 мм

Расчет проводим по [8]

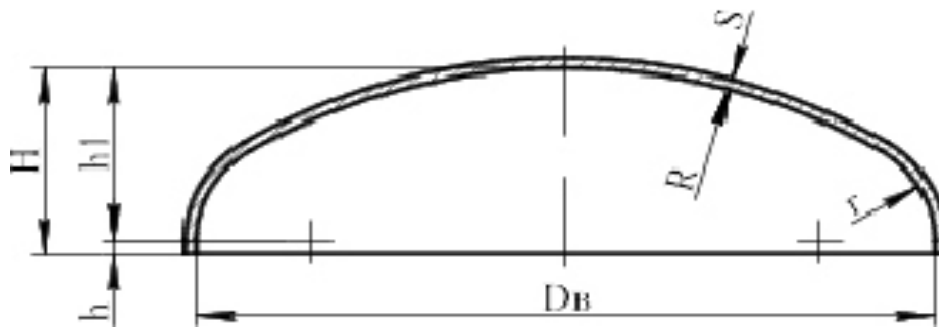


Рисунок 2.3.2 - Эллиптическое днище

Наружный диаметр эллиптической крышки:

$$D_{11} := 1600 \text{ мм}$$

$$\frac{P_{\text{рас}}}{\sigma_{\text{д}}} = 1.962 \times 10^{-3} \quad \frac{P_{\text{и}}}{\sigma_{\text{и20}}} = 2.453 \times 10^{-3}$$

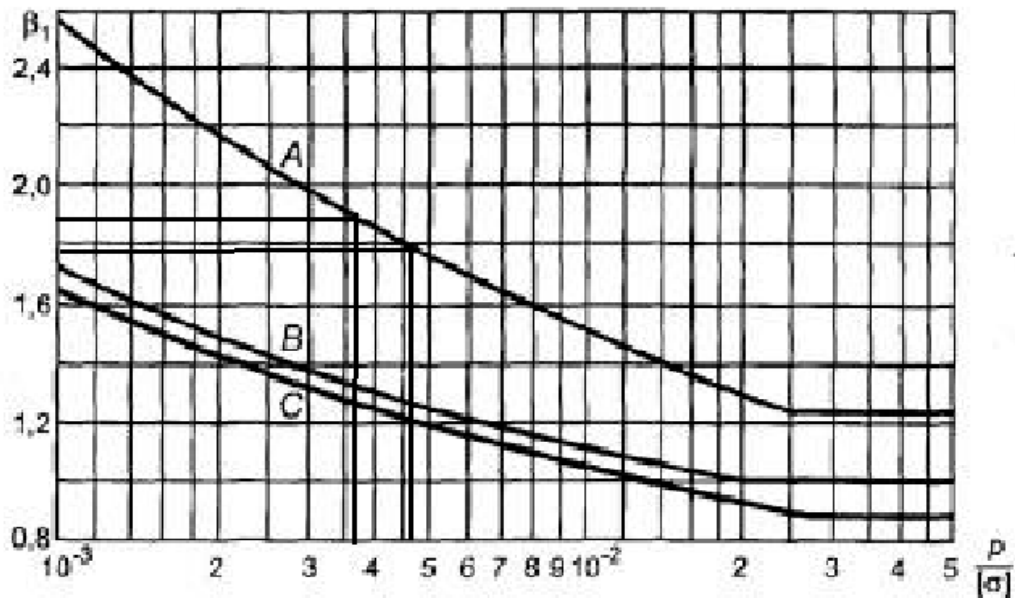


Рисунок 2.3.3 - График для определения β_1

Коэффициент β_1 для рабочих условий:

$$\beta_{1_1} := 1.1$$

Коэффициент β_1 для гидраиспытания:

$$\beta_{1_2} := 1$$

Толщина стенки в краевой зоне:

$$s_{4p_1} := \max\left(\frac{D_{11} \cdot \beta_{1_1} \cdot P_{рас}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D}, \frac{D_{11} \cdot \beta_{1_2} \cdot P_{и}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20}}\right) = 1.962 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_{и4_1} := s_{4p_1} + c = 5.362 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки эллиптической крышки в краевой зоне:

$$s_{4_1} := 14 \quad \text{мм}$$

Высота выпуклой части крышки без учёта цилиндрической части:

$$H_4 := 300 \quad \text{мм}$$

Радиус кривизны в вершине днища равен:

$$R_1 := \frac{D_{11}^2}{4 \cdot H_4} = 2.133 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Для сварных днищ толщина стенки в центральной зоне:

$$s_{4p_2} := \max\left(\frac{R_1 \cdot P_{рас}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - 0.5 \cdot P_{рас}}, \frac{R_1 \cdot P_{и}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - 0.5 \cdot P_{и}}\right) = 2.618 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_{и4_2} := s_{4p_2} + c = 6.018 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки эллиптической крышки в центральной зоне:

$$s_{4_2} := 14 \quad \text{мм}$$

Определяем коэффициент β_2 :

$$\beta_2 := \max\left[0.9, 0.12 \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{D_{11}}{s_{4_1} - c}} + 3.2\right)\right] = 1.023$$

Допускаемое избыточное давление из условия прочности краевой зоны вычисляют по формуле:

Для рабочих условий:

$$P_{д4_1} := \frac{2 \cdot (s_{4_1} - c) \cdot \sigma_D \cdot \phi}{D_{11} \cdot \beta_2} = 1.924 \quad \text{МПа}$$

Для гидраиспытания:

$$P_{и4_1} := \frac{2 \cdot (s_{4_1} - c) \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi}{D_{11} \cdot \beta_2} = 3.536 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок краевой зоны:

$$\text{Проверка}_9 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{и4_1} > P_{и} \wedge P_{д4_1} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₉ = "Условие прочности выполняется"

Допускаемое избыточное давление из условия прочности центральной зоны:

Для рабочих условий:

$$P_{д4_2} := \frac{2 \cdot (s_{4_2} - c) \cdot \sigma_D \cdot \phi}{R_1 + 0.5 \cdot (s_{4_2} - c)} = 1.472 \quad \text{МПа}$$

Для гидроиспытания:

$$P_{и4_2} := \frac{2 \cdot (s_{4_2} - c) \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi}{R_1 + 0.5 \cdot (s_{4_2} - c)} = 2.706 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок в центральной зоне:

$$\text{Проверка}_{10} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{и4_2} > P_{и} \wedge P_{д4_2} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₁₀ = "Условие прочности выполняется"

Расчёт эллиптического днища диаметром 1600 мм

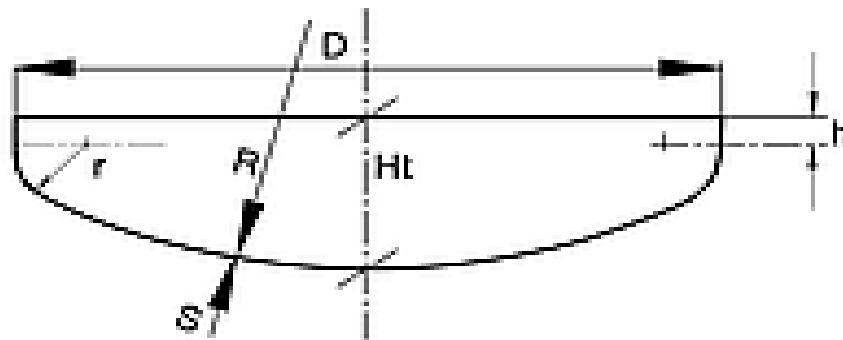


Рисунок 2.3.4 - Схема эллиптического днища

Наружный диаметр эллиптического днища:

$$D_{21} := 1628 \text{ мм}$$

Толщина стенки в краевой зоне:

$$s_{5p_1} := \max\left(\frac{D_{21} \cdot \beta_{1_1} \cdot P_{рас}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д}}, \frac{D_{21} \cdot \beta_{1_2} \cdot P_{и}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20}}\right) = 1.996 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_{и5_1} := s_{5p_1} + c = 5.396 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки эллиптического днища в краевой зоне:

$$s_{5_1} := 14 \text{ мм}$$

Высота выпуклой части крышки без учёта цилиндрической части:

$$H_5 := 300 \text{ мм}$$

Радиус кривизны в вершине днища равен:

$$R_2 := \frac{D_{21}^2}{4 \cdot H_5} = 2.209 \times 10^3 \text{ мм}$$

Для сварных днищ толщина стенки в центральной зоне:

$$s_{5p_2} := \max\left(\frac{R_2 \cdot P_{рас}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д} - 0.5 \cdot P_{рас}}, \frac{R_2 \cdot P_{и}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - 0.5 \cdot P_{и}}\right) = 2.71 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стеки:

$$s_{и5_2} := s_{4p_2} + c = 6.018 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки торосферического днища в центральной зоне:

$$s_{5_2} := 14 \quad \text{мм}$$

Определяем коэффициент β_2 :

$$\beta_2 := \max \left[0.9, 0.12 \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{D_{21}}{s_{5_1} - c}} + 3.2 \right) \right] = 1.027$$

Допускаемое избыточное давление из условия прочности краевой зоны вычисляют по формуле:

Для рабочих условий:

$$P_{д5_1} := \frac{2 \cdot (s_{5_1} - c) \cdot \sigma_D \cdot \phi}{D_{21} \cdot \beta_2} = 1.884 \quad \text{МПа}$$

Для гидроиспытания:

$$P_{и5_1} := \frac{2 \cdot (s_{5_1} - c) \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi}{D_{21} \cdot \beta_2} = 3.463 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок краевой зоны:

$$\text{Проверка}_{11} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{и5_1} > P_{и} \wedge P_{д5_1} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₁₁ = "Условие прочности выполняется"

Допускаемое избыточное давление из условия прочности центральной зоны:

Для рабочих условий:

$$P_{д5_2} := \frac{2 \cdot (s_{5_2} - c) \cdot \sigma_D \cdot \phi}{R_2 + 0.5 \cdot (s_{5_2} - c)} = 1.422 \quad \text{МПа}$$

Для гидроиспытания:

$$P_{и5_2} := \frac{2 \cdot (s_{5_1} - c) \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi}{R_2 + 0.5 \cdot (s_{5_1} - c)} = 2.614 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок в центральной зоне:

$$\text{Проверка}_{12} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{и5_2} > P_{и} \wedge P_{д5_2} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₁₂ = "Условие прочности выполняется"

Расчет и подбор штуцеров, укрепления отверстий

Подбор стандартных штуцеров согласно [9]

Конструктивно принимаем штуцера с уплотнительной поверхностью шип-паз так как среда внутри аппарат взрывоопасная.

Расчет диаметров патрубков:

Штуцер для выхода конденсата газа с куба (А)

$$d_{вк} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{f1})}{\pi \cdot \omega_1}}$$

$$V_{f1} := \frac{L_{f1}}{\rho_1 \cdot 3600}$$

L.f1 - массовый расход смеси кг/ч

$$L_{f1} := 48484.9$$

$$\rho_1 := 521.357 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{плотность смеси}$$

$$V_{f1} := \frac{L_{f1}}{\rho_1 \cdot 3600} = 0.026$$

Vf - объемный расход смеси кг/с

$$\pi := 3.14$$

ω - скорость движения м/с

$$\omega_1 := 1.5$$

$$d_{вк} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{f1})}{\pi \cdot \omega_1}} = 0.148 \quad \text{мм}$$

Принимаем стандартный по Ду=150 мм

Штуцер 159х6

Длина 180 мм

Толщина стенки 6 мм

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С, материал такой же как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

Штуцер для вход парожидкостной смеси (Б) :

$$L_{\Pi} := 48484.9 \text{ кг/ч}$$

$$\rho_{\Pi} := 521.357 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V_{\Pi} := \frac{L_{\Pi}}{\rho_{\Pi} \cdot 3600} = 0.026 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$\omega_{\Pi} := 1.5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$d_{\Pi} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{\Pi})}{\pi \cdot \omega_{\Pi}}} = 0.148$$

Принимаем стандартный $Dy=150$ мм

Штуцер 159х6

Длина 180 мм

Толщина стенки 6 мм

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С, материал такой же как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

Штуцер 150 - 4,0 - 2 - 4 - 200 - 09Г2С АТК 24.218.06-90.

Пример условного обозначения штуцера Dy 150 мм, P_y 4,0 МПа, типа 2, исполнения 4, l = 180 мм, фланец из стали 09Г2С патрубков из стали 20:

Расчет патрубков штуцеров диаметром 150 мм

Расчетная толщина стенки патрубков при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p7} := \max \left(\left(\frac{P_{\text{рас}} \cdot \frac{150}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_{\text{рас}}}}{P_{\text{и}} \cdot \frac{150}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{и}20} - P_{\text{и}}}} \right) \right) = 0.184 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубков:

$$s_{\text{и}7} := s_{p7} + c = 3.584 \text{ мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин

$$s_7 := 6 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории [9]:

$$\text{Проверка}_{16} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмомент. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_7 - c}{150} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_7 - c}{150} > 0.1 \end{cases}$$

Проверка₁₆ = "Условия применения формул безмомент. теории выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д7} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi \cdot (s_7 - c)}{150 + (s_7 - c)} = 5.06 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и7} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_7 - c)}{150 + (s_7 - c)} = 9.303 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при рабочих условиях: [9]

$$\text{Проверка}_{17} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д7} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₁₇ = "Условие прочности стенки выполняется"

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при гидроиспытаниях: [9]

$$\text{Проверка}_{18} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{и7} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₁₈ = "Условие прочности стенки выполняется"

Подбираем стандартный фланец согласно [10]

Пример условного обозначения фланца исполнения 3 диаметром 300 мм на условное давление 4 МПа из стали 09Г2С

Фланец 3-300-4,0-092С ГОСТ 28759.3-90

Фланец 4-300-4,0-092СГОСТ28759.3-90

Штуцер для входа питания на тарелки (В)

$$L_{ф2} := 36654.2 \text{ кг/ч}$$

$$\rho_2 := 188.028 \quad \text{плотность исходной смеси} \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V_{f2} := \frac{L_{f2}}{\rho_2 \cdot 3600} = 0.054 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$\omega_{f2} := 7.5 \quad \text{м/с}$$

$$d_{вп} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{f2})}{\pi \cdot \omega_{f2}}} = 0.096$$

Принимаем стандарт Ду=100 мм

Штуцер 108х6

Длина 180 мм

Толщина стенки 6 мм

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С, материал такой же как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

Штуцер для выхода готовой продукции (Г)

$$L_{f3} := 12605.4 \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\rho_3 := 33.711 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\omega_3 := 14.2 \quad \text{м/с}$$

$$V_{f3} := \frac{L_{f3}}{3600 \cdot \rho_3} = 0.104 \quad \text{кг/с}$$

$$d_{вм} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{f3})}{\pi \cdot \omega_3}} = 0.097 \quad \text{мм}$$

Принимаем стандарт Ду=100 мм

Штуцер 108х6

Длина 180 мм

Толщина стенки 6 мм

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С, материал такой же как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

Расчет патрубков штуцеров диаметром 100 мм

Расчетная толщина стенки патрубков при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p9} := \max \left(\left(\frac{P_{рас} \cdot \frac{100}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_{рас}}}{P_{и} \cdot \frac{100}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} - P_{и}}} \right) \right) = 0.123 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубков:

$$s_{и9} := s_{p9} + c = 3.523 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин

$$s_9 := 6 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории [9]:

$$\text{Проверка}_{22} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмомент. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_9 - c}{100} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_9 - c}{100} > 0.1 \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_{22} = \text{"Условия применения формул безмомент. теории выполняются"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д9} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi \cdot (s_9 - c)}{100 + (s_9 - c)} = 7.526 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и9} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_9 - c)}{100 + (s_9 - c)} = 13.836 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при рабочих условиях: [9]

$$\text{Проверка}_{23} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д9} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_{23} = \text{"Условие прочности стенки выполняется"}$$

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при гидраиспытаниях: [9]

$$\text{Проверка}_{24} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{и9} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_{24} = \text{"Условие прочности стенки выполняется"}$$

Подбираем стандартный фланец согласно [9]

Пример условного обозначения фланца исполнения 3 диаметром 230 мм на условное давление 4 МПа из стали 09Г2С

Фланец 3-230-4,0-092С ГОСТ 28759.3-90

Фланец 4-230-4,0-092СГОСТ28759.3-90

Штуцер на орошение (Д)

$$L_{f4} := 24436.1 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\rho_4 := 522.842 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\omega_4 := 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$V_{f4} := \frac{L_{f4}}{3600 \cdot \rho_4} = 0.013 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$d_{\text{оп}} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{f4})}{\pi \cdot \omega_4}} = 0.074 \text{ мм}$$

Принимаем стандарт $D_u = 80$ мм

Штуцер 89х6

Длина 180 мм

Толщина стенки 6 мм

Штуцер изготовлен из материала сталь 09Г2С, материал такой же как и материал частей аппарата с которыми он соединен, для избежания увеличения скорости коррозий.

Расчет патрубка штуцера на орошение диаметром 80 мм

Расчетная толщина стенки патрубков при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p10} := \max \left(\left(\frac{P_{\text{рас}} \cdot \frac{80}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д}} - P_{\text{рас}}}}{P_{\text{и}} \cdot \frac{80}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{и20}} - P_{\text{и}}}} \right) \right) = 0.098 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубков:

$$s_{\text{и10}} := s_{p10} + c = 3.498 \text{ мм}$$

Принимаем толщину для колонных аппаратов из ряда стандартных толщин

$$s_{10} := 6 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории [9]:

$$\text{Проверка}_{25} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмомент. теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_{10} - c}{80} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \frac{s_{10} - c}{80} > 0.1 \end{cases}$$

Проверка₂₅ = "Условия применения формул безмомент. теории выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д10} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi \cdot (s_{10} - c)}{80 + (s_{10} - c)} = 9.349 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытаниях:

$$P_{и10} := \frac{2 \cdot \sigma_{и20} \cdot \phi \cdot (s_{10} - c)}{80 + (s_{10} - c)} = 17.186 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, патрубка от действия внутреннего давления при рабочих условиях: [9]

$$\text{Проверка}_{26} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{д10} > P_{рас} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₂₆ = "Условие прочности стенки выполняется"

Проверка условия прочности стенок патрубка от действия внутреннего давления при гидроиспытаниях: [9]

$$\text{Проверка}_{27} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки выполняется"} & \text{if } P_{и10} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₂₇ = "Условие прочности стенки выполняется"

Подбираем стандартный фланец согласно [10]

Пример условного обозначения фланца исполнения 3 диаметром 195 мм на условное давление 4 МПа из стали 09Г2С

Фланец 3-195-4,0-092С ГОСТ 28759.3-90

Фланец 4-195-4,0-092СГОСТ28759.3-90

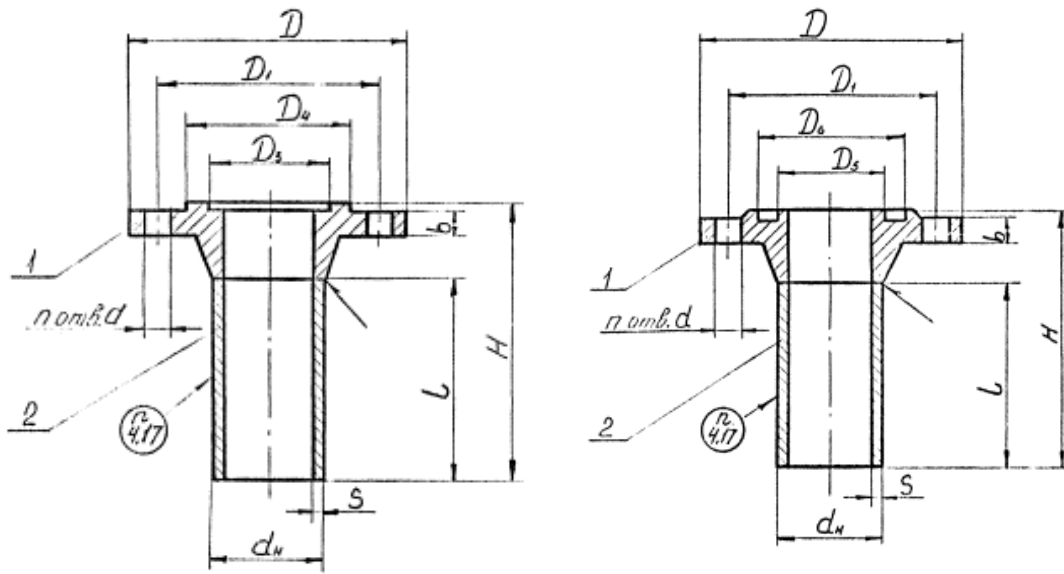


Рисунок 2.3.5 - Штуцера с фланцами приваренными встык с уплотнительной поверхностью типа шип-паз на условное давление 4,0 МПа

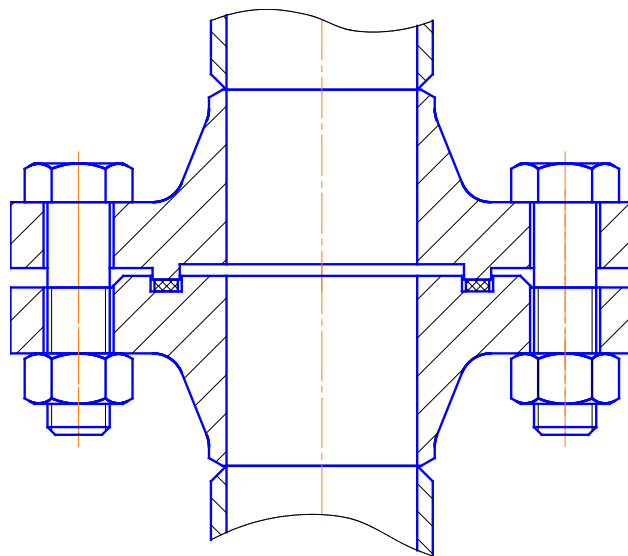


Рисунок 2.3.6 - Соединение штуцеров типа шип-паз.

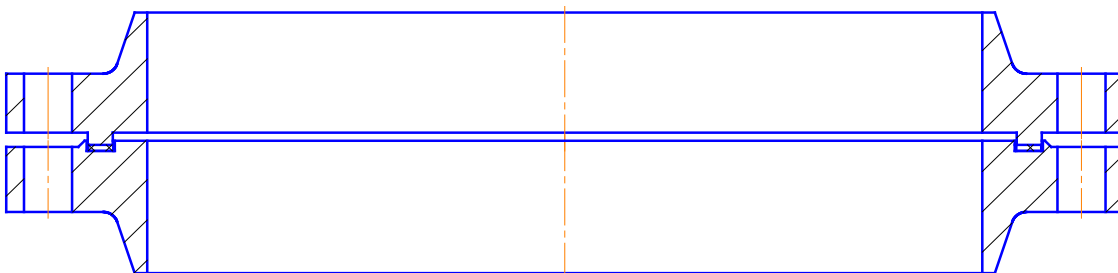


Рисунок 2.3.7 - Соединение фланцев типа шип-паз. ГОСТ 28759.3-90

Таблица стандартных штуцеров

Dy мм	D мм	L мм	H мм	dн	S мм	n
80	195	180	239	69	6	8
100	230	180	250	108	6	8
150	300	180	253	159	6	8

Таблица штуцеров

Обозн	наименование	Кол	Dy	Py
А	Выход конденсата газа из куба	1	150	4.0
Б	Вход парожидкостной смеси	1	150	4.0
В	Вход питание на тарелки	3	100	4.0
Г	Выход готовой продукции	1	100	4.0
Д	Вход на орошение	1	80	4.0
Ц	Люк-лаза	5	500	4.0
Ш	Лаз	2	500	-

Подбор и расчет люка-лаза

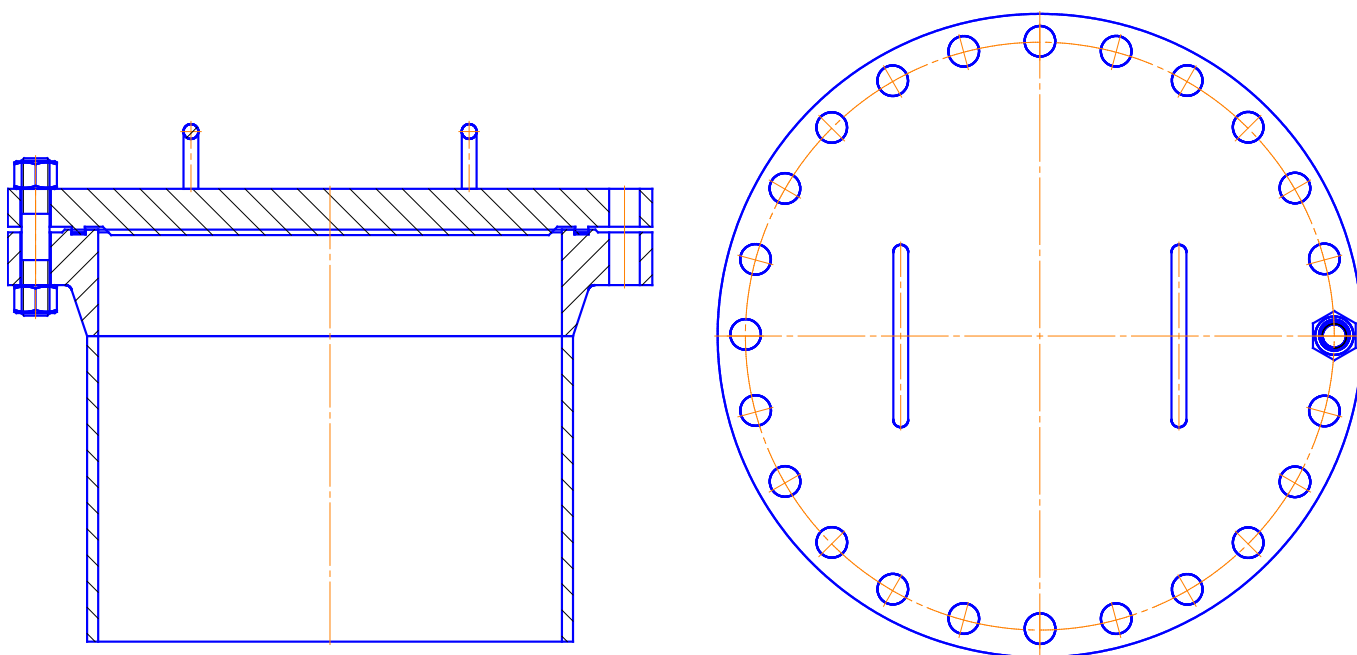


Рисунок 2.3.8 - Рисунок люк-лаз с уплотнительной поверхностью шип-паз ОСТ 26-2006-83.

Пример условного обозначения люка исполнения 1 диаметром $Dв = 500$ мм на условное давление 4 МПа с размером $S = 12$ мм, основной шифр материального исполнения люка 2, дополнительный шифр материального исполнения люка 3, шифр материального исполнения крепежных деталей 1:

Люк 1-500-4-12-2-3-1 ОСТ 26-2006-83.

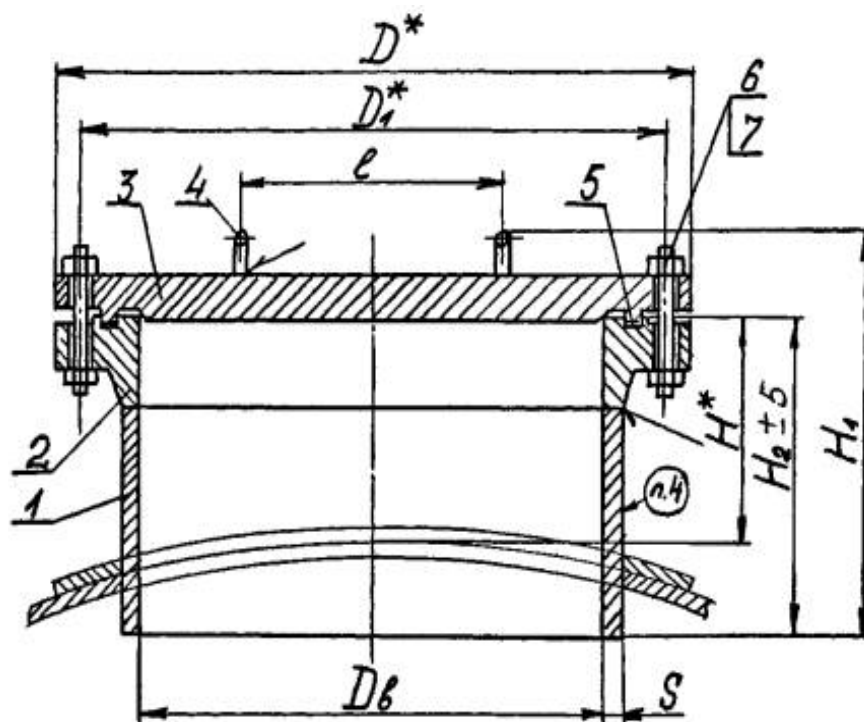


Рисунок 2.3.9 - Рисунок люк-лак с уплотнительной поверхностью шип-паз с конструктивными размерами.

Таблица 2.3.2 Люк-лак основные конструктивные размеры

Дав. условное	Диаметр внутр.	D^*	D_1^*	H^*	H_1	H_2	l	S
МПа	мм							
4,0	500	695	635	240	575	445	300	12

Прочностной расчет фланцевого соединения люка-лаза:

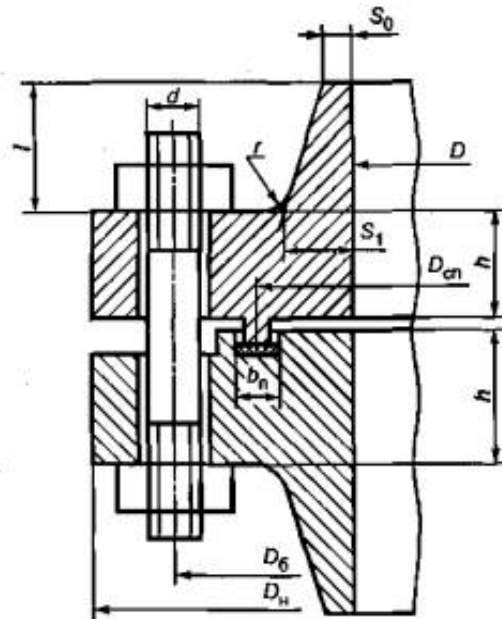


Рисунок 2.3.10 - Фланцевое соединения с приварными встык фланцами с гладкой уплотнительной поверхностью типа шип - паз.

Тип фланца: фланцевое соединения приварные встык

Тип уплотнительной поверхности: шип-паз

Расчет проводим [10]

Исходные данные для расчета: взяты из таблицы

Внутренний диаметр: $D := 500$ мм

Наружный диаметр фланца: $D_n := 535$ мм

Диаметр болтовой окружности: $D_b := 495$ мм

Толщина фланца: $h := 35$ мм

Материал обечаек и фланцев - сталь 09Г2С

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

Толщина прокладки: $h_n := 3$ мм

Ширина прокладки: $b_n := 15$ мм

Диаметр болта: $d := 20$ мм

Средний диаметр прокладки:

Толщина цилиндрической части втулки принята:

$$s_0 := 12 \text{ мм}$$

Толщина конической части втулки:

$$s_{1B} := 34 \text{ мм}$$

Уклон втулки (принимаем):

$$i := \frac{1}{3}$$

Высота втулки:

$$h_B := 55 \text{ мм}$$

Средний диаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} := D_H - b_{\text{п}} = 520 \text{ мм}$$

Количество болтов:

$$n := 16 \text{ болтов}$$

Расчетная температура фланцевого соединения (не изолированного):

$$t_{\phi} := t_{\text{раб}} \cdot 0.96 = 336 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_{\phi} := t_{\text{раб}} \cdot 0.85 = 297.5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{\phi} = 297.5$$

материал для болтов: Сталь 35Х

допускаемое напряжение материала при температуре 20⁰с для болта согласно [10]:

$$\sigma_{\phi 20} := 230 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала болта при рабочей температуре $t_{\phi} = 297.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ согласно [9]:

$$\sigma_{\phi} := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\left(\begin{array}{c} 100 \\ 150 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 230 \\ 255 \end{array} \right), t_{\phi}, 0.5 \right] \right] = 328.5 \text{ МПа}$$

материал для фланцевого соединения 09Г2С

допускаемое напряжение материала при гидроиспытаниях для фланцев согласно [10]:

$$\sigma_{\phi 20} := \sigma_{\text{н}20} = 273 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала при рабочей температуре $t_{\phi} = 336 \text{ }^{\circ}\text{C}$ для фланцев согласно [10]:

$$\sigma_{\phi} := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\left(\begin{array}{c} 130 \\ 150 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 140 \\ 133 \end{array} \right), t_{\phi} \right], 0.5 \right] = 67.5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости материала болта при температуре 20 градусов:

$$E_{620} := 2.15 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости материала фланца 09Г2С согласно [10] для низколегированных сталей, при температуре 20 °С

$$E_{20} := 2.1 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости материала фланца при рабочей температуре $t_{\phi} = 336$ °С:

$$E := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\left(\begin{array}{c} 120 \\ 150 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 2.03 \cdot 10^5 \\ 2.02 \cdot 10^5 \end{array} \right), t_{\phi} \right], 0.5 \right] = 1.958 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости материала болта при рабочей температуре температуре $t_{\phi} = 297.5$ °С (Сталь 35Х теплоустойчивая и коррозионно-стойкая хромистая):

$$E_{\phi} := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\left(\begin{array}{c} 100 \\ 150 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 1.9 \cdot 10^5 \\ 1.84 \cdot 10^5 \end{array} \right), t_{\phi} \right], 0.5 \right] = 1.663 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Температурный коэффициент линейного расширения материала фланцев 09Г2С согласно [10]

$$\alpha_{\phi} := 12.6 \cdot 10^{-6}$$

Температурный коэффициент линейного расширения болтов 35Х согласно [8]:

$$\alpha_{\phi} := 13.2 \cdot 10^{-6}$$

Эффективная ширина прокладки:

-для плоских прокладок:

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

Характеристики прокладки:

Прокладочный коэффициент m

$$m := 2.5$$

Удельное давление обжатия прокладки:

$$q_{\text{обж}} := 20 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое Удельное давление

$$q_d := 130 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент обжатия:

$$K_{обж} := 0.9$$

Условный модуль сжатия прокладки

$$E_{п} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке,

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P_{рас}| = 8.92 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

$$R_{п} := \begin{cases} \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_{рас} & \text{if } P_{рас} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} = 1.784 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек) по таблице 2.3.3

$$f_{б} := 235 \text{ мм}^2$$

Таблица 2.3.3 Расчетная площадь поперечного сечения болтов.

$d_{б}, \text{ мм}$	20	22	24	27	30	36
$f_{б}, 10^{-4}, \text{ м}^2$	2,35	2,95	3,4	4,45	5,4	7,9
$d_{б}, \text{ мм}$	42	48	52	56	60	65
$f_{б}, 10^{-4}, \text{ м}^2$	10,9	14,4	18,2	19,65	23,0	26,0

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

$$A_{б} := n \cdot f_{б} = 3.76 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_{д} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{сп})^2 \cdot P_{рас} = 6.185 \times 10^4 \text{ Н}$$

Податливость прокладки

$$P_{рас} = 0.291$$

$$y_{п} := \frac{h_{п} \cdot K_{обж}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 5.512 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{б0} := 2 \cdot h + h_{п} = 73 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта при определении податливости

$$L_{б} := \text{ceil}(L_{б0} + 0.28 \cdot d) = 79 \text{ мм}$$

Податливость болтов

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{620} \cdot A_6} = 9.772 \times 10^{-8} \quad \text{мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

Параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_0} = 77.46 \quad \text{мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.07$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.886$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 31.356$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 28.829$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 14.803$$

Коэффициенты β_F , β_V и f , зависящие от соотношения размеров втулки фланца, для фланцевы соединений с приварными встык фланцами с конической втулкой определяют по графикам, приведенным на рисунках К.2 - К.4, в зависимости от отношений:

$$\beta := \frac{s_1}{s_0} = 1.167$$

$$x := \frac{h_B}{\sqrt{D \cdot s_0}} = 0.71$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами:

$$\beta_F := 0.81$$

$$\beta_V := 0.26$$

$$f := 1$$

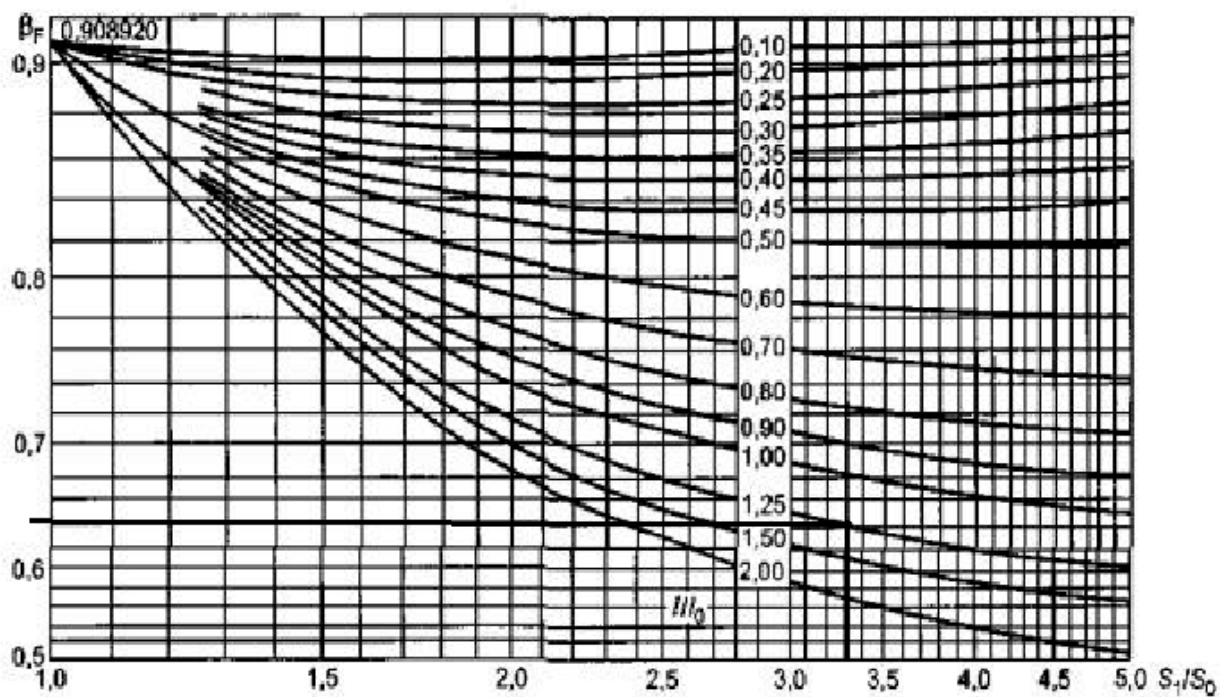


Рисунок 2.3.11 - Коэффициент β_F

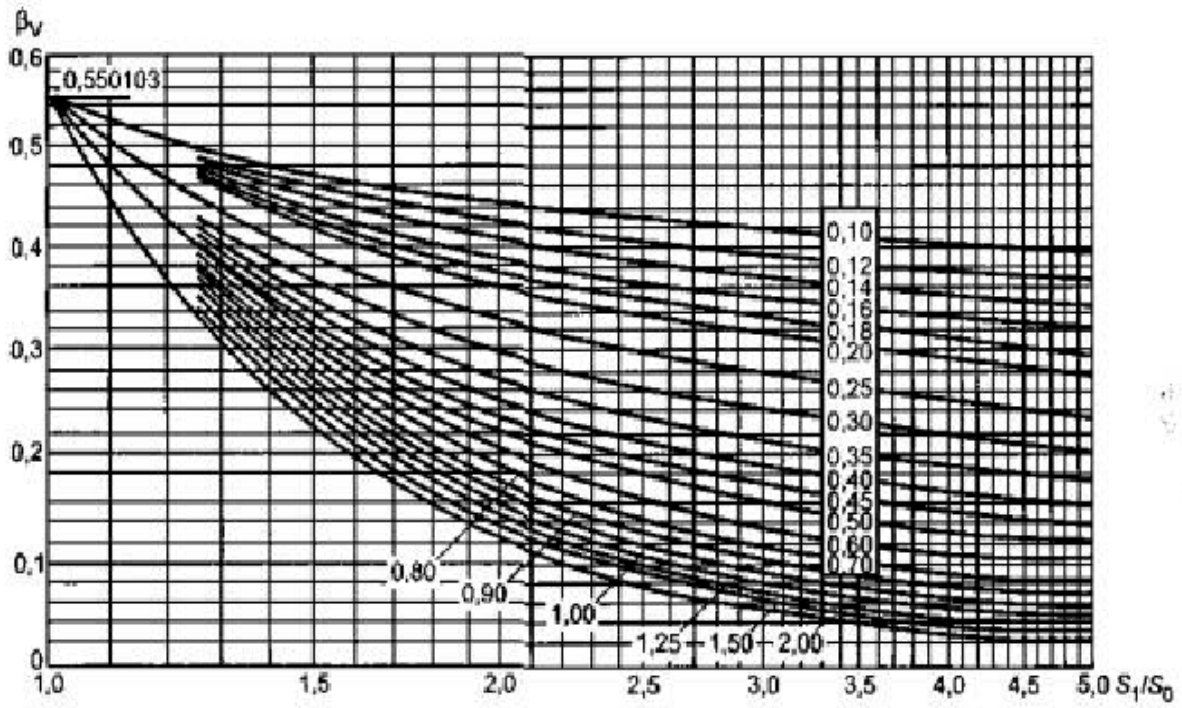


Рисунок 2.3.12 - Коэффициент β_v

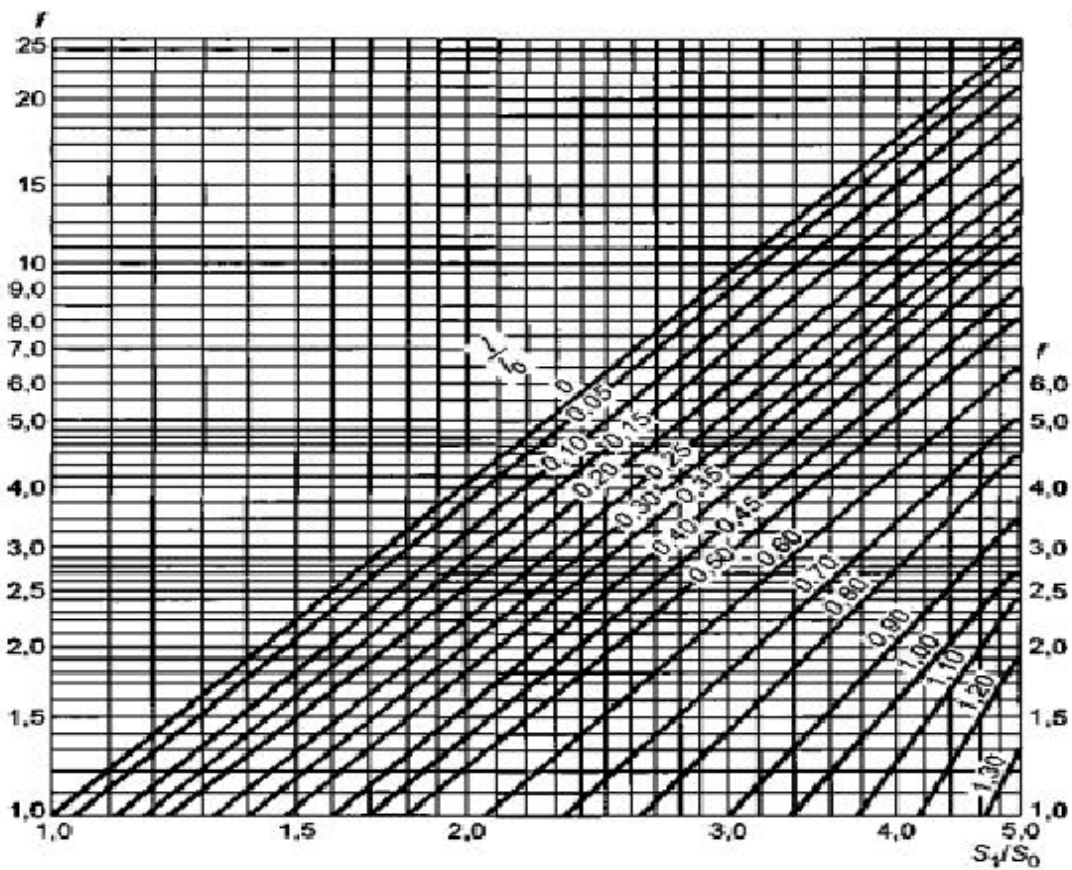


Рисунок 2.3.13 - Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца f

- коэффициент λ

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (s_1)^2} = 0.748$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{\lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0 \cdot E_{20}} = 1.351 \times 10^{-10}$$

Плечи действий усилия в болтах:

-Для приваренных встык фланцев: смотри [10]

$$b := 0.5 \cdot (D_H - D_{СП}) = 7.5 \quad \text{мм}$$

Относительная длина втулки фланца:

$$\xi := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.095$$

$$s_3 := \xi \cdot s_0 = 13.135$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{СП} - D - s_3) = 3.433 \quad \text{мм}$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций

Коэффициент жесткости фланцевого соединения нагруженного внутренним давлением

$$\alpha := 1 - \frac{y_{II} - 2 \cdot y_{\phi} \cdot e \cdot b}{y_{II} + y_6 + 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b^2} = 0.224$$

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

$$P_{61} := \alpha \cdot Q_d + R_{II} = 3.168 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

При рабочих условиях:

$$P_{62} := P_{61} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d) = 7.969 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Расчётная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений:

- при затяжке фланцевого соединения

$$P_{\text{бм}} := \max(P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}}) = 7.969 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

-в рабочих условиях

$$P_{\text{бр}} := P_{\text{бм}} + (1 - \alpha) \cdot Q_{\text{д}} = 1.277 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетные напряжения в болтах при затяжке:

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бм}}}{A_{\text{б}}} = 21.194 \quad \text{МПа}$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{бр}}}{A_{\text{б}}} = 33.963 \quad \text{МПа}$$

где $\xi = 1,2$ — коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке; $\xi := 1.2$

$K_{\text{у.р}}$ — коэффициент условий работы:

$K_{\text{у.р1}} = 1,0$ для рабочих условий;

$K_{\text{у.р2}} = 1,35$ для условий испытания.

$$K_{\text{у.р1}} := 1 \quad K_{\text{у.р2}} := 1.35$$

$K_{\text{у.з}}$ — коэффициент условий затяжки:

$K_{\text{у.з}} = 1,0$ при обычной неконтролируемой затяжке;

$$K_{\text{у.з}} := 1$$

Рекомендуемые значения крутящих моментов при затяжке приведены в приложении Л.

$K_{\text{у.т}}$ — коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций:

Учитываем температурные деформации:

$$K_{\text{у.т}} := 1.3$$

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам:

При гидроиспытаниях:

$$\sigma_{\text{бм}} := K_{\text{у.р2}} \cdot K_{\text{у.з}} \cdot \xi \cdot K_{\text{у.т}} \cdot \sigma_{\text{б20}} = 484.38 \quad \text{МПа}$$

При рабочих условиях

$$\sigma_{\text{бр}} := K_{\text{у.р1}} \cdot K_{\text{у.з}} \cdot K_{\text{у.т}} \cdot \sigma_{\text{б}} = 427.05 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности болтов при затяжке:

$$\text{Услов}_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности болтов при гидраиспытаниях выполняются"} & \text{if } \sigma_{\delta 1} \leq \sigma_{\delta M} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_1 = \text{"Условия прочности болтов при гидраиспытаниях выполняются"}$$

$$\sigma_{\delta 1} = 21.194 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{\delta M} = 484.38 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности болтов в рабочих условиях:

$$\text{Услов}_2 := \begin{cases} \text{"Условия прочности болтов при работе выполняются"} & \text{if } \sigma_{\delta 2} \leq \sigma_{\delta P} \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Услов}_2 = \text{"Условия прочности болтов при работе выполняются"}$$

$$\sigma_{\delta 2} = 33.963 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{\delta P} = 427.05 \quad \text{МПа}$$

Паронит мягкая прокладка, поэтому в соответствии с [7] проверяется условие прочности прокладки:

Расчетное удельное давление:

$$q := \frac{\max(P_{\delta 1}, P_{\delta 2})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0} = 3.254 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое удельное давление определяется по предложению И согласно [7] для паронита при не более 2-3 мм:

$$q_d := 130 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Услов}_{\text{проч}} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } q \leq q_d \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условия выполняются"}$$

Расчет фланца на статическую прочность:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$C_{\phi} := \max \left(1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_1}{n}}{2 \cdot d + \frac{h \cdot 6}{m + 0.5}}} \right) = 1.69$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M_M := C_{\phi} \cdot P_{\delta 1} \cdot b = 4.014 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_P := C_\phi \cdot \max[(P_{\text{бр}} \cdot b + Q_d \cdot e), e \cdot |Q_d|] = 1.977 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца с конической втулкой:

$$D_{\text{пр}} := \begin{cases} D & \text{if } D \geq 20 \cdot s_1 \\ (D + s_0) & \text{if } \begin{cases} f > 1 \\ D \leq 20 \cdot s_1 \end{cases} \\ (D + s_1) & \text{if } \begin{cases} D \leq 20 \cdot s_1 \\ f = 1 \end{cases} \end{cases} = 514 \text{ мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 9.294 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0M} := f \cdot \sigma_{1M} = 9.294 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

Меридиональное изгибающее напряжение для плоского фланца:

$$\sigma_{1P} := \frac{M_P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 45.773 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0P} := f \cdot \sigma_{1P} = 45.773 \text{ МПа}$$

Меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца:

$$\sigma_{0MM_раб} := \frac{Q_d}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = 4.473 \text{ МПа}$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца, трубе плоского фланца S_0 :

$$\sigma_{0Mo_раб} := \frac{D \cdot P_{\text{рас}}}{2 \cdot (s_0 - c)} = 8.47 \text{ МПа}$$

Условия статической прочности фланцев:

-при затяжке:

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении s_0 условия статической прочности определяют по формулам: проверка согласно [10]:

с учетом стесненности температурных деформаций:

$$K_T := 1.3$$

допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений МПа;

$$\sigma_R := \sigma_6 = 328.5 \text{ МПа} \quad \sigma_{0M} = 9.294 \text{ МПа}$$

$$\sigma_R \cdot K_T = 427.05 \text{ МПа}$$

При затяжке:

$$\text{Услов}_3 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq \sigma_R \cdot K_T \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

-в рабочих условиях:

$$A := \max\left(\left|0.3 \cdot \sigma_{0p} - \sigma_{0MO_pa6}\right|, \left|0.3 \cdot \sigma_{0p} + \sigma_{0MO_pa6}\right|\right)$$

$$B := \left|0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{0MO_pa6} - \sigma_{0MM_pa6})\right|$$

$$B := \left|0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{0MO_pa6} - \sigma_{0MM_pa6})\right|$$

$$\max\left(\max\left(\left|\sigma_{0p} - \sigma_{0MM_pa6}\right|, \left|\sigma_{0p} + \sigma_{0MM_pa6}\right|\right), A, \max(B, B)\right)$$

$$\Gamma := 0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{0MO_pa6} - \sigma_{0MM_pa6})$$

$$D := \max\left(\left|\sigma_{0p} - \sigma_{0MM_pa6}\right|, \left|\sigma_{0p} + \sigma_{0MM_pa6}\right|\right)$$

$$E := \max\left(\left|0.3 \cdot \sigma_{0p} - \sigma_{0MO_pa6}\right|, \left|0.3 \cdot \sigma_{0p} + \sigma_{0MO_pa6}\right|\right)$$

$$Ж := \left|0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{0MO_pa6} - \sigma_{0MM_pa6})\right|$$

$$\text{Услов}_{\text{стат}2} := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \max(D, E, \max(Ж, \Gamma)) \leq \sigma_R \cdot K_T \\ \text{"Условия прочности не выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условия выполняются"}$$

$$\max(D, E, \max(Ж, \Gamma)) = 50.246 \text{ МПа} \quad \sigma_R \cdot K_T = 427.05 \text{ МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев:

Угол поворота приварного встык, плоского фланца и бурта свободного фланца в рабочих условиях: [10]

$$\theta := P_{бр} \cdot y_{ф} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 1.85 \times 10^{-5}$$

Допускаемый угол поворота фланца определяем при помощи интерполяции:

$$\theta_d := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\left(\begin{array}{c} 400 \\ 2000 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} 0.006 \\ 0.013 \end{array} \right), D \right], 0.00005 \right] = 6.4 \times 10^{-3}$$

$$\text{Усл}_{\text{поворота}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \theta \leq \theta_d \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условие выполняется"}$$

$$\theta = 1.85 \times 10^{-5} \quad \theta_d = 6.4 \times 10^{-3}$$

Расчет на прочность плоской крышки люка-лаза:

Расчет проводим согласно [9]

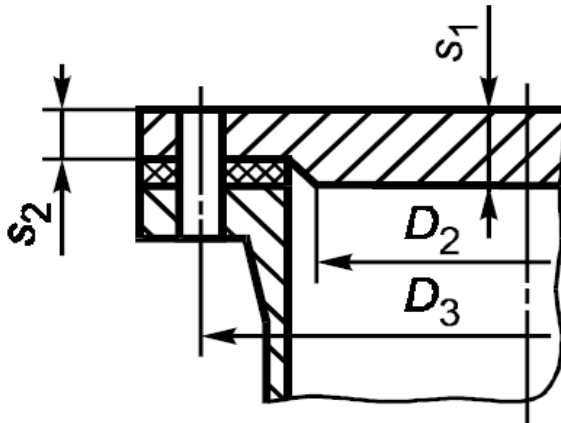


Рисунок 2.3.14 - Схема плоской крышки

Расчетный диаметр:

$$D_p := 500 \text{ мм}$$

Коэффициент, зависящий от способа закрепления крышки:

$$K := 0.4$$

Коэффициент ослабления, при отсутствии отверстий в крышке:

$$K_0 := 1$$

Расчетная толщина крышки:

$$s_{pk} := \max \left(\left(\begin{array}{l} K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_{рас}}{\phi \cdot \sigma_D}} \\ K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_{и}}{\phi \cdot \sigma_{и20}}} \end{array} \right) \right) = 9.905 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки крышки:

$$s_{ик} := s_{pk} + c = 13.305 \quad \text{мм}$$

Принимаем исполнительную толщину крышки:

$$s_k := 50 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул для расчета плоских крышек:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } \frac{12 - c}{D_p} \leq 0.11 \\ \text{"Условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Условия выполняются"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

допускаемое внутреннее давление при гидротестированиях:

$$P_{д5} := \left[\frac{(s_k - c)}{(K \cdot K_0 \cdot D_p)} \right]^2 \cdot \phi \cdot \sigma_D = 8.062 \quad \text{МПа}$$

допускаемое внутреннее давление при рабочих условиях:

$$P_{д6} := \left[\frac{(s_k - c)}{(K \cdot K_0 \cdot D_p)} \right]^2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и20} = 14.821 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенки крышки:

Проверка условия прочности крышки от действия внутреннего давления при гидротестированиях

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки крышки выполняется"} & \text{if } P_{д6} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₂ = "Условие прочности стенки крышки выполняется"

Проверка условия прочности крышки от действия внутреннего давления при рабочих условиях:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки крышки выполняется"} & \text{if } P_{\text{дб}} > P_{\text{рас}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₃ = "Условие прочности стенки крышки выполняется"

Укрепление отверстий патрубков штуцеров
согласно [9]:

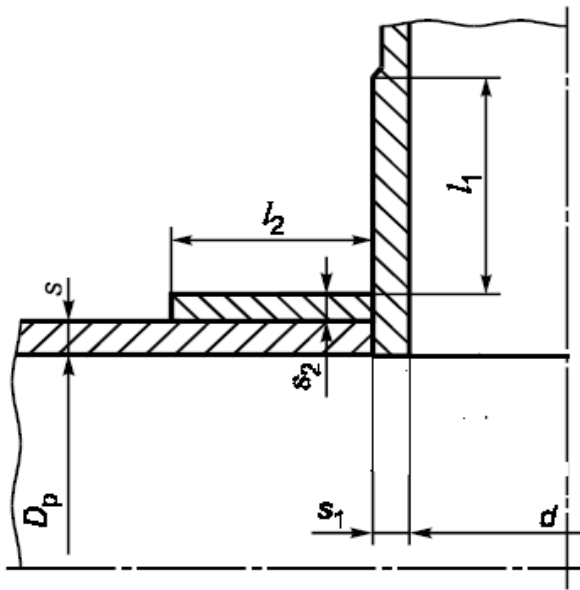


Рисунок 2.3.15 - Укрепление отверстий при наличии проходного штуцера

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

- для цилиндрической обечайки 1 (верх колонны)

$$D_{p1} := D_1 = 1.6 \times 10^3 \text{ мм}$$

- для цилиндрической обечайки 2 (низ колонны)

$$D_{p2} := D_2 = 1.6 \times 10^3 \text{ мм}$$

- для эллиптической крышки:

$$D_{p3} := 2 \cdot R_1 = 4.267 \times 10^3 \text{ мм}$$

- для эллиптического днища:

$$D_{p4} := 2 \cdot R_2 = 4.417 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий в стенках обечайки, ось которого совпадает с нормалью к поверхности: расчет проводим по [9]

Расчетный диаметр отверстия штуцера входа сырья на тарелки и (такой же диаметр имеет штуцер для выхода готовой продукции из К-1):

$$d_1 := \text{ceil}(100 + 2 \cdot c) = 107 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстия штуцера для выхода конденсата из куба(такой же диаметр имеет штуцер для входа парожидкостной смеси):

$$d_2 := \text{ceil}(150 + 2 \cdot c) = 157 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстия штуцера для орошения

$$d_3 := \text{ceil}(80 + 2 \cdot c) = 87 \quad \text{мм}$$

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

- для цилиндрической обечайки 1 (верх колонны)

$$d_{01} := 2 \cdot \left(\frac{s_1 - c}{s_{p1}} - 0.8 \right) \sqrt{D_{p1} \cdot (s_1 - c)} = 1.197 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

- для цилиндрической обечайки 2 (низ колонны)

$$d_{02} := 2 \cdot \left(\frac{s_2 - c}{s_{p2}} - 0.8 \right) \sqrt{D_{p2} \cdot (s_2 - c)} = 1.197 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

- для торосферической крышки:

$$d_{03} := 2 \cdot \left(\frac{s_{4_2} - c}{s_{4p_2}} - 0.8 \right) \sqrt{D_{p3} \cdot (s_{4_2} - c)} = 1.382 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

- для торосферического днища:

$$d_{04} := 2 \cdot \left(\frac{s_{5_2} - c}{s_{5p_2}} - 0.8 \right) \sqrt{D_{p4} \cdot (s_{5_2} - c)} = 1.346 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцера входа питания на тарелки:

$$\text{Расч}_{\text{отв1}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"} & \text{if } d_1 < d_{01} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Расч_{отв1} = "Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцера выхода из куба:

$$\text{Расч}_{\text{отв2}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"} & \text{if } d_2 < d_{02} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Расч}_{\text{отв2}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцера на орошение:

$$\text{Расч}_{\text{отв3}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"} & \text{if } d_3 < d_{01} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Расч}_{\text{отв3}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для люка-лаза на обечайки:

$$\text{Расч}_{\text{отв5}} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"} & \text{if } d_3 < d_{02} \wedge d_1 < d_{02} \\ \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера необходим"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Расч}_{\text{отв5}} = \text{"Расчет укрепления отверстия штуце не требуется"}$$

Все отверстия проверины на необходимость укрепления. Штуцера питания на тарелки, выхода из куба, на орошение и для люка-лаза укрепления не требуют.

Расчёт ситчатой тарелки

Материал тарелки: Сталь 09Г2С

Диск тарелки представляет собой круглую пластину, опёртую по контуру и нагруженную равномерной нагрузкой от собственного веса и веса жидкости.

Определение толщины тарелки:

согласно [4]

$K := 0.36$ - Коэффициент, зависящий от способа закрепления стенки.

Коэффициент ослабления тарелки отверстиями:

Расстояние между центрами отверстий на тарелке: $t := 100$ мм

- Меньшая сторона стенки

$b := 390$ мм

Предел текучести для материала тарелки: в рабочих условиях $t_{\text{раб}} := 150^{\circ}\text{C}$

$$\tau_{\text{тар}} := \text{Floor} \left[\text{Interp} \left[\left(\begin{array}{c} 100 \\ 200 \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} 224 \\ 223 \end{array} \right), t_{\text{раб}}, 0.5 \right] \right] = 223.5 \quad \text{Па}$$

Запас прочности:

$$n_{\text{T}} := 1.1$$

Поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата:

$$\eta_{\text{T}} := 0.9$$

Допускаемое напряжение на изгиб для материала тарелки:

$$\sigma_{\text{из}} := \frac{\tau_{\text{тар}}}{n_{\text{T}}} \cdot \eta_{\text{T}} = 182.864 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Ускорение свободного падения: } g = 9.8 \quad \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$\text{Высота слоя жидкости на тарелки: } h := 0.06 \quad \text{м}$$

Плотность жидкости на тарелке:

$$\rho_{\text{жид}} := 188.028 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

масса человека, назначаем конструктивно:

$$W_0 := 100 \quad \text{кг}$$

$$\text{масса тарелки: } W_{\text{T}} := 70 \quad \text{кг}$$

Диаметр 1.2 м

Давление, действующее на тарелку аппарата:

$$p := \frac{4 \cdot g \cdot (W_{\text{T}} + W_0 + \rho_{\text{жид}} \cdot h)}{1.2^2 \cdot \pi \cdot 10^6} = 1.572 \times 10^{-3} \quad \text{МПа}$$

расчетная толщина тарелки:

$$s_{\text{тар}} := K \cdot b \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\text{из}} \cdot \phi}} = 0.412 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина тарелки:

$$s_{\text{итар}} := s_{\text{тар}} + c = 3.812 \quad \text{мм}$$

Принимаем толщину тарелки:

$$s_{\text{T}} := 4 \quad \text{мм}$$

Расчет на прогиб тарелки

коэффициент для жестко закрепленной по периметру секции равен:

Модуль упругости материала тарелки: $K_c := 0.0206$

$$E_{\text{тар}} := \text{Floor} \left[\text{interp} \left[\begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.86 \cdot 10^5 \end{pmatrix}, t_{\text{раб}}, 0.5 \right] \right] = 1.925 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Согласно [4]

Относительный прогиб:

$$y := K_c \cdot \frac{b^4 \cdot p}{E_{\text{тар}} \cdot s_T} = 0.973 \text{ мм}$$

Прогиб тарелки не должен быть больше 2 мм, условие выполняется.

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

Расчет на поперечный изгиб

Согласно [7]

Периметр слива:

$$\Pi_{\text{пер}} := 5280 \text{ мм}$$

Коэффициент, зависящий от способа закрепления ребра на опорах, не жесткое закрепление:

$$K_{\text{ребра}} := 8$$

Предельно расчетный момент сопротивления укрепляющего ребра:

$$W_p := \frac{\left(\frac{b}{3}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Pi_{\text{пер}}}{3}\right) p}{2 \cdot K_{\text{ребра}} \cdot \sigma_{\text{из}}} = 15.977 \text{ мм}^3$$

Выбираем уголок согласно [8] "Уголок 35x35 ГОСТ 8509-93" с $W_p = 0.93 \text{ см}^3$

Расчет веса аппарата

Диаметр внутренний верха колонны:

$$D_{1i} := 1.6 \text{ м}$$

Толщина стенки обечайки верха:

$$s_{1i} := 0.014 \text{ м}$$

Толщина стенки обечайки низа:

$$s_{2i} := 0.014 \text{ м}$$

Высота колонны

$$H_{ap} := 2 \text{ м}$$

Плотность материала сталь 12Х18Н10Т

$$\rho_{мет} := 7920 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\pi := 3.14$$

Диаметр колонны

$$D := 1.6 \text{ м}$$

Масса корпуса:

$$\rho_{мет} := 7920$$

толщина стенки

$$s := 0.014 \text{ м}$$

ускорение свободного падения м/с²

$$g := 9.8$$

Плотность вода кг. м³

$$\rho_{вод} := 1000$$

Масса корпуса

$$M_k := \left[\left(D_{21} \cdot 10^{-3} \right)^2 - D^2 \right] \left(H_{ap} \cdot \rho_{мет} \cdot \frac{\pi}{4} \right) = 1.124 \times 10^3$$

Масса днища и крышки

$$M_d := D^2 \cdot 2 \cdot s \cdot \rho_{мет} = 567.706 \text{ кг}$$

Масса тарелок

$$n_{ч} := 25 \text{ число тарелок}$$

$$m_T := 160 \text{ кг масса одной тарелки}$$

$$M_T := m_T \cdot n_{ч} = 4 \times 10^3$$

Масса воды при испытании

$$M_B := \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho_{вод} \cdot H_{ap} = 4.019 \times 10^3$$

Масса колоны

$$M_{ан} := M_T + M_B + M_k = 9.143 \times 10^3$$

Расчет аппарата на ветровую нагрузку

Расчет согласно [11]

Высота аппарата:

Расчетная схема аппарата колонного типа

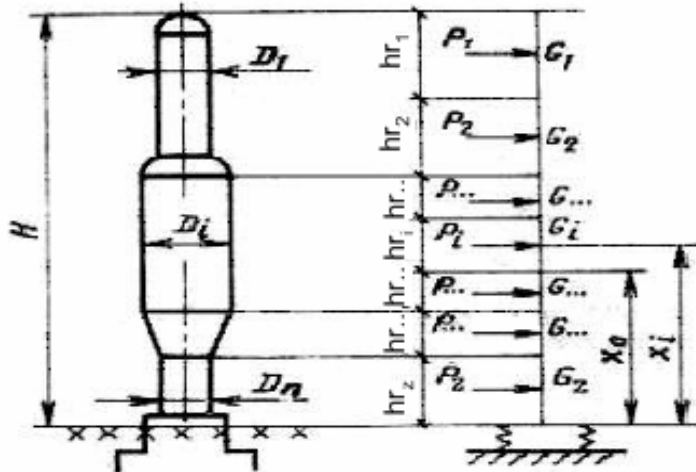


Рисунок 2.3.16

Исходные данные:

Все расчетные сечения и высоты выбираются в соответствии с расчетной схемой

Количество участков $hr_z := 3$
 Высота колонны $H_k := 23.204$ м
 Высота опоры $H_{оп} := 3$ м
 Диаметр колонны $\underline{D} := 1.6$ м

$$H_1 := 5.204 \text{ м}$$

$$H_2 := 9 \text{ м}$$

$$H_3 := 9 \text{ м}$$

$$H := H_1 + H_2 + H_3 = 23.204 \text{ м}$$

Высота опоры (конструктивно):

$$\underline{h} := 3 \text{ м}$$

Высота аппарата вместе с опорой:

$$H_{ап} := h + H = 26.204 \text{ м}$$

Необходимость проведения расчета аппарата на ветровую нагрузку:

$$K := \begin{cases} 5 & \text{if } H_{\text{ап}} < 10 \\ 1.5 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_{\text{ветр}} := \begin{cases} \text{"расчет на ветровые нагрузки необходим"} & \text{if } \frac{H_{\text{ап}}}{D} > K \\ \text{"расчет на ветровые нагрузки не обязателен"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_{\text{ветр}} = \text{"расчет на ветровые нагрузки необходим"}$$

Аппарат размещается на улице:

Тип расчетной схемы: ГОСТ 380-88

Расчет согласно [11]

$$\text{схема} := \begin{cases} \text{"расчетная схема аппарата в виде консольного стержня"} & \text{if } \frac{H_{\text{ап}}}{D} \geq 15 \\ \text{"в виде упруго защемленного стержня"} & \text{if } \frac{H_{\text{ап}}}{D} < 15 \end{cases}$$

$$\text{схема} = \text{"расчетная схема аппарата в виде консольного стержня"}$$

Рисунок 2.3.16 схема разбивки аппарата на участки при расчете его на ветровую нагрузку. Условно разбиваем по высоте аппарат на три участка.

Высота участков колонны:

$$h_1 := 8.204 \text{ м} \quad h_2 := 9 \text{ м} \quad h_3 := 9 \text{ м}$$

Высота центров масс разбитых участков от фундамента:

$$x_3 := \frac{h_3}{2} = 4.5 \text{ м}$$

$$x_2 := h_3 + \frac{h_2}{2} = 13.5 \text{ м}$$

$$x_1 := h_3 + h_2 + \frac{h_1}{2} = 22.102 \text{ м}$$

Вес аппарата, заполненного жидкостью:

$$M_{\text{ап}} = 9.143 \times 10^3 \text{ Н}$$

Вес *i*. участков аппарата:

$$G_1 := \left[\left(D_{21} \cdot 10^{-3} \right)^2 - D^2 \right] \left(h_1 \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot \frac{\pi}{4} \right) g = 4.518 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$G_2 := \left[\left(D_{21} \cdot 10^{-3} \right)^2 - D^2 \right] \left(h_2 \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot \frac{\pi}{4} \right) g = 4.956 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$G_3 := \left[\left(D_{21} \cdot 10^{-3} \right)^2 - D^2 \right] \left(h_3 \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot \frac{\pi}{4} \right) g = 4.956 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Определение периода собственных колебаний: (минимальный и максимальный)

Модуль упругости материала в рабочих условиях:

$$E := \text{Floor} \left[\text{linterp} \left[\begin{array}{c} (100) \\ (200) \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} (1.94 \cdot 10^5) \\ (1.86 \cdot 10^5) \end{array} \right]_{t_{\text{раб}}}, 0.5 \right] = 1.9 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости при гидроиспытаниях:

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

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := 0.0049 \quad \text{м}$$

Момент инерции верхнего основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси:

$$I_1 := \left(\frac{\pi \cdot D_1^3}{8} \right) (s_1 - c) = 0.015 \quad \text{м}^4$$

Момент инерции нижнего основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси:

$$I_2 := \left[\frac{\pi \cdot (D_2 \cdot 10^{-3})^3}{8} \right] (s_1 - c) = 0.015 \quad \text{м}^4$$

Минимальный период собственных колебаний (пустой аппарат)

$$T_{\min} := 1.79 \cdot \text{Н} \cdot \sqrt{\left(\frac{M_{\text{ап}}}{g} \right) \frac{\text{Н}}{E \cdot I_2}} = 115.913 \quad \text{с}$$

Максимальный период собственных колебаний:

$$T_{\max} := 1.79 \cdot \text{Н} \cdot \sqrt{\left(\frac{M_{\text{ап}}}{g} \right) \frac{\text{Н}}{E \cdot I_2}} = 115.913 \quad \text{с}$$

скоростной напор ветра, согласно:

$$q_0 := 125 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

коэффициент Θ_i для каждого участка:

$$\Theta_1 := \left(\frac{x_1}{10} \right)^{0.32} = 1.289 \quad \Theta_3 := \left(\frac{x_3}{10} \right)^{0.32} = 0.775$$

$$\Theta_2 := \left(\frac{x_2}{10} \right)^{0.32} = 1.101$$

Нормативное значение статической составляющей ветровой нагрузки на середине i -го участка аппарата: $K := 0.7$

$$q_{1ст} := q_0 \cdot \Theta_1 \cdot K = 112.778 \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$q_{2ст} := q_0 \cdot \Theta_2 \cdot K = 96.32 \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$q_{3ст} := q_0 \cdot \Theta_3 \cdot K = 67.77 \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Толщина стенки аппарата, в местах соприкосновения с опорой:

$$s_{ст} := s_2 = 0.014 \quad \text{м}$$

Наружный диаметр участка:

$$D_{нар1} := D_1 + 2 \cdot s_{ст} = 1.628 \quad \text{м}$$

$$D_{нар2} := D_2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot s_{ст} = 1.628 \quad \text{м}$$

Статическая составляющая ветровой нагрузки на каждом участке:

$$P_{1ст} := q_{1ст} \cdot D_{нар1} \cdot h_1 = 1.506 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

$$P_{2ст} := q_{2ст} \cdot D_{нар2} \cdot h_2 = 1.411 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

$$P_{3ст} := q_{1ст} \cdot D_{нар2} \cdot h_1 = 1.506 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Коэффициент динамичности:

При минимальном периоде собственного колебания:

$$\varepsilon_1 := T_{\min} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 1.64$$

$$\xi_1 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon_1} = 6.143$$

При максимальном периоде собственного колебания:

$$\varepsilon_2 := T_{\max} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 1.64$$

$$\xi_2 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon_2} = 6.143$$

Коэффициент пульсаций скоростного напора:

$$m_1 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_1}{10} \right)^{-0.15} = 0.675 \quad m_3 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_3}{10} \right)^{-0.15} = 0.857$$

$$m_2 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_2}{10} \right)^{-0.15} = 0.727$$

Коэффициент увеличения скорости напора:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$\beta_1 := 1 + \xi_2 \cdot m_1 = 5.145$$

$$\beta_3 := 1 + \xi_2 \cdot m_3 = 6.262$$

$$\beta_2 := 1 + \xi_2 \cdot m_2 = 5.463$$

При минимальной силе тяжести аппарата:

$$\beta_7 := 1 + \xi_1 \cdot m_1 = 5.145$$

$$\beta_9 := 1 + \xi_1 \cdot m_3 = 6.262$$

$$\beta_8 := 1 + \xi_1 \cdot m_2 = 5.463$$

Сила от ветровой нагрузки, действующая на каждый из участков аппарата:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$P_1 := 0.6 \cdot \beta_1 \cdot D_1 \cdot q_{1\text{ст}} \cdot x_1 = 1.231 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_2 := 0.6 \cdot \beta_2 \cdot D_2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{2\text{ст}} \cdot x_2 = 6.819 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

$$P_3 := 0.6 \cdot \beta_3 \cdot D_2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{3\text{ст}} \cdot x_3 = 1.833 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

При минимальном весе аппарата:

$$P_7 := 0.6 \cdot \beta_7 \cdot D_1 \cdot q_{1\text{ст}} \cdot x_1 = 1.231 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_8 := 0.6 \cdot \beta_8 \cdot D_2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{2\text{ст}} \cdot x_2 = 6.819 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

$$P_9 := 0.6 \cdot \beta_9 \cdot D_2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{3\text{ст}} \cdot x_3 = 1.833 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Изгибающий момент от ветровой нагрузки на аппарат относительно основания при максимальной силе тяжести аппарата:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$M_{B1} := P_1 \cdot x_1 = 2.721 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B2} := P_2 \cdot x_2 = 9.206 \times 10^4 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B3} := P_3 \cdot x_3 = 8.25 \times 10^3 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B_{\text{max}}} := M_{B1} + M_{B2} + M_{B3} = 3.724 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

При минимальной силе тяжести аппарата:

$$M_{B7} := P_7 \cdot x_1 = 2.721 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B8} := P_8 \cdot x_2 = 9.206 \times 10^4 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B9} := P_9 \cdot x_3 = 8.25 \times 10^3 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B_min} := M_{B7} + M_{B8} + M_{B9} = 3.724 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Расчетные размеры опорного кольца:

k_0 - коэффициент, определяемый графически и зависящий от диаметра аппарата, $k_0 := 0.15$,

Внутренний расчетный диаметр кольца:

$$D_{1B} := 1.5 \quad \text{м}$$

Наружный диаметр кольца:

$$D_{3B} := 1.9 \quad \text{м}$$

Опорная площадь кольца:

$$F_k := \left(\frac{\pi \cdot D_{3B}^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot D_{1B}^2}{4} \right) = 1.068 \quad \text{м}^2$$

Ширина фундаментного кольца:

$$L_\phi := \frac{D_{3B} - D_{1B}}{2} = 0.2 \quad \text{м}$$

Момент инерций фундаментного кольца:

$$I_k := \frac{\pi \cdot (D_2 \cdot 10^{-3})^3}{8} \cdot L_\phi = 0.322 \quad \text{м}^4$$

Момент инерций подошвы фундамента относительно центральной оси:

$$I_\phi := 1.3 \cdot I_k = 0.418 \quad \text{м}^4$$

Момент сопротивления опорной площадки кольца:

$$W_k := \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D_{3B}^4 - D_{1B}^4}{D_{3B}} \right) = 0.412 \quad \text{м}^3$$

$$M_{ap} := 4.964 \times 10^5$$

Максимальное напряжение сжатие на опорной поверхности опорного кольца:

$$\sigma_{max} := \frac{M_{ap}}{F_k} = 4.65 \times 10^5 \quad \text{Па}$$

Допускаемая удельная нагрузка на опорной поверхности:

$$q_{av} := 23 \cdot 10^7 \quad \text{Па}$$

Проверка выполнения условий:

$$U_{\text{расчета}} := \begin{cases} \text{"Не требуется вносить изменения"} & \text{if } \sigma_{\text{max}} \leq q_d \\ \text{"Внести изменения в размеры внутреннего кольца"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{\text{расчета}} = \text{"Не требуется вносить изменения"}$

Временное сопротивление материала 09Г2С

$$\sigma_B := 500 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$$

Предел выносливости:

$$\sigma_{-1} := 0.44 \cdot \sigma_B = 2.2 \times 10^8 \quad \text{Па}$$

Номинальная расчетная толщина опорного кольца:

$$l_{\text{н}} := \frac{D_{3B} - D_{1B}}{2} = 0.2 \quad \text{м}$$

$$s_{\text{н}} := 1.73 \cdot l_{\text{н}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{-1}}} = 0.016 \quad \text{м}$$

Принимаем толщину опорного кольца (конструктивно):

$$s_{\text{н}} := 0.25 \quad \text{м}$$

Расчет на устойчивость аппарата против опрокидывания от ветровой нагрузки:

$$\sigma := \max\left(\frac{M_{\text{ап}}}{F_k} + \frac{M_{B_{\text{max}}}}{W_k}, \frac{M_{\text{ап}}}{F_k} - \frac{M_{B_{\text{min}}}}{W_k}\right) = 1.37 \times 10^6 \quad \text{Па}$$

Общая условная расчетная нагрузка на фундаментные болты:

$$P_{\sigma} := 0.785 \cdot (D_{3B}^2 - D_{1B}^2) \sigma = 1.462 \times 10^6 \quad \text{Па}$$

Количество анкерных болтов (Задаем конструктивно):

$$n_{\sigma} := 24$$

Нагрузка на один болт:

$$P_{\sigma 1} := \frac{P_{\sigma}}{n_{\sigma}} = 6.093 \times 10^4 \quad \text{Па}$$

Расчетный внутренний диаметр резьбы болта:

Материал для болта Сталь 09Г2С при температуре 20 градусов.

$$\sigma_{\text{н}} := 196 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$$

Расчетный диаметр болтов:

$$d_{\text{рас_болт}} := \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\sigma 1}}{\pi \cdot \sigma_{\delta}}} = 0.02 \quad \text{м}$$

Принимаем стандартный диаметр болта:

M24 x 300

$$d_{\delta} := 0.024 \quad \text{м}$$

Расчетный диаметр болтовой окружности:

$$D_{2B} := (D + 2 \cdot s_{\text{ст}} + 4 \cdot d_{\delta}) = 1.724 \quad \text{м}$$

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К31	Ермошин Иван Анатольевич

Институт	Инженерная школа новых производственных технологий	Кафедра	Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования - рабочая зона персонала обслуживающего проектируемую ректификационную колонну
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность	<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды</p> <ul style="list-style-type: none"> – Микроклимат – Шум и вибрация – Вредные вещества <p>2. Анализ выявленных опасных факторов произведённой среды</p> <ul style="list-style-type: none"> – Механические опасности – Термические опасности – Электробезопасность – Пожаровзрывобезопасность
2. Экологическая безопасность.	<ul style="list-style-type: none"> – Защита селитебной зоны – Анализ воздействия объекта на атмосферу; – Анализ воздействия объекта на

	гидросферу; – Анализ воздействия объекта на литосферу;
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Определение поражающих факторов вероятных чрезвычайных ситуаций
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– Условия труда – Медицинские осмотры – Гарантии и компенсации – Обеспечение сиз – Обеспечение смывающими средствами

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Ермошин И.А		

3.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В данном разделе исследуется проект ректификационной колонны. Данная установка входит в состав нефтеперерабатывающих производств. Продукция установки применяется в качестве компонента топлива для двигателей внутреннего сгорания, а также как сырье для нефтехимических и лакокрасочных производств. Процесс ректификации является пожаро- и взрывоопасным производством и использует вещества, оказывающие вредное воздействие на организм человека.

Продуктом, определяющим взрывоопасность ректификационной колонны, являются пары углеводородов, которые с кислородом воздуха образуют смесь, взрывающуюся при наличии огня или искры.

Все применяемые на установке продукты являются горючими газами или легковоспламеняющимися жидкостями, большинство из которых имеют низкую температуру вспышки.

Наиболее опасными местами на установке являются:

- блок печей;
- помещение технологической насосной;
- места отбора газообразных проб для лабораторных анализов;
- все колодцы промканализации, где возможно скопление углеводородных паров.

Производственная безопасность

Перечень опасных и вредных факторов, по ГОСТ 12.0.003-74, характерные для производственной среды ректификационной колонны приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Опасные и вредные факторы при эксплуатации и обслуживанию технологической установки риформинга.

Источник фактора, наименование работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>1. Обход и осмотр оборудования.</p> <p>2. Проведение технологических операций.</p> <p>3. Обтяжка крепежа аппаратов и оборудования.</p> <p>4. Отбор проб.</p>	<p>1. Отклонение показателей микроклимата в помещениях;</p> <p>2. Превышение уровней шума и вибрации;</p> <p>3. Повышенная загазованность воздуха рабочей среды;</p> <p>4. Повышенная температура оборудования, механизмов;</p> <p>5. Применение токсичных, sensibilizing и раздражающих веществ.</p>	<p>1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</p> <p>2. Электрический ток.</p> <p>3. Применение горючих и взрывоопасных веществ</p> <p>4. Применение токсичных, sensibilizing и раздражающих веществ.</p>	<p>Параметры микроклимата, повышенная температура оборудования, устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [С-1]. Количество токсичных, sensibilizing и раздражающих веществ регламентируется ГН 2.2.5.1313-03 [С-2]. Уровень шума регламентируется СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [С-5]. Уровень вибрации регламентируется СИ 2.2.4/2.1.8.556-96 [С-4]. Действие подвижных частей производственного оборудования регламентируется ПОТ РО 14000-001-98 [С-6].</p> <p>Электрический ток ПУЭ 7 [С-7].</p> <p>Применение горючих и взрывоопасных веществ №123 ФЗ от 22.07.2008 [С-8].</p>

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Микроклимат

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Оптимальные параметры показателей микроклимата приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 Санитарно-гигиенические условия в производственном помещении

Показатели	Производственное помещение - Операторная
Характеристика тяжести работы	Средней тяжести I б
Температура воздуха :Теплый период	21-23
Холодный период, ⁰ С	22-24
Температура поверхностей: Теплый период	20-24
Холодный период, ⁰ С	21-25
Относительная влажность, %,	40-60
Скорость движения воздуха, м/с,	0,1
Интенсивность теплового облучения	-

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата использованы защитные мероприятия:

- коллективные: системы местного кондиционирования воздуха, помещения для отдыха и обогрева.
- индивидуальные: спецодежда.

Шум и вибрация

Шум и вибрация возникают при работе оборудования(насосов, электровентиляторов) и движении материальных потоков по трубопроводам.

При постоянном воздействии шума наблюдаются снижение слуха, различные вегетативные сдвиги и изменения сердечно-сосудистой системы. При

Негативное влияние на организм человека оказывает вибрация, длительное воздействие которой вызывает нарушение функций дыхания, способствует изменению ритма сердечной деятельности и сосудистого тонуса; отрицательно сказывается на работе зрительной, вестибулярной, двигательной систем, а также на работе органов женской половой сферы.

Шум на рабочих местах не должен превышать 65 дБ[С-5].

Средства защиты: от шума- применение шумного оборудования, применение звукоизоляционных экранов, применение работниками специальных наушников; От вибрации-использование оборудования с виброзащитными рукоятками, специальной обуви и перчаток.

Вредные вещества

Вещества, используемые на производстве катализата вызывают токсическое отравление организма человека. Предельно допустимые концентрации этих веществ приведены в таблице 3. Для защиты от действия вредных веществ применяется система вентиляции, система анализа превышения ПДК, при превышении ПДК включается сигнализация и аварийная вытяжная вентиляция. В качестве индивидуальных средств защиты применяются фильтрующие противогазы марки А или БКФ.

2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды

Механические опасности.

Применяемое оборудование имеет движущиеся части- лопасти вентиляторов охлаждения. Для защиты работающих устанавливаются защитные ограждения, исключающие попадание частей тела человека в опасную зону.

Термические опасности

Источниками термической опасности являются технологические аппараты и трубопроводы, имеющие повышенную температуру стенок. Для защиты работающих от ожогов применяется тепловая изоляция. Температура стенки теплоизоляции не должна превышать 45 °С в местах возможного касания открытыми участками тела персоналом, 60 °С в остальных местах. Защитные ограждения- экраны.

Электробезопасность

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током на установке выполнено зануление всех токоведущих металлических частей оборудования в электроустановках напряжением до 1000В с глухозаземленной нейтралью и заземление всех нетоквещущих металлических частей электрооборудования в электроустановках напряжением выше 1000 В, которые могут оказаться под напряжением.[С-7]

Сопrotивление заземления операторной не должно превышать 4 Ом, остальных зданий и сооружений-10 Ом.

Здания и сооружения подлежат молниезащите от прямых ударов молнией и ее вторичных проявлений. Сооружения по устройству молниезащиты относятся ко 2-ой категории.

Для предупреждения возможности возникновения опасных искровых разрядов на установке предусмотрен отвод электрических зарядов с технологического оборудования, коммуникаций, емкостей с ЛВЖ и горючими газами путем присоединения их к устройствам заземления.

Жидкости должны подаваться в аппараты так, чтобы исключить разбрызгивание или бурного перемешивания. Налив свободно падающей струей не допускается.

Пожаровзрывобезопасность

На установке основными вредными, токсичными, взрыво - и пожароопасными веществами, находящимися в производстве, являются :нефть, нефтяной газ, реагенты, неочищенные пластовые воды.

Сооружения размещаются на безопасном расстоянии друг от друга согласно противопожарных норм проектирования.

Технологическая и реагентная насосные, оборудуются автоматической системой пожаротушения.

Содержание взрывоопасных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать НКПВ. На установке должны быть установлены светильники, оборудование во взрывозащищенном исполнении категории Ex.

Для тушения пожаров небольших количеств на открытой поверхности применяют песок, который является универсальным средством огнетушения. Для тушения горячей электропроводки или электрооборудования применяются только углекислотные огнетушители. В местах, где находится обслуживающий персонал, предусмотрена система противопожарной сигнализации.

Территория установки должна постоянно содержаться в чистоте. Горючий мусор и отходы производства должны систематически убираться с производственной территории и вывозиться в безопасное в пожарном отношении место. Места разлива горючих жидкостей смываются водой и засыпаются сухим песком. Для тушения и предотвращения пожара установка ректификационной колонны снабжается первичными средствами пожаротушения - углекислотными и порошковыми огнетушителями, а также кошмой, ящиками с песком, лопатам, ведрами.

Применяемые на установке вещества и материалы, в силу своих токсических свойств классифицируются как вредные вещества. Эти же самые вещества обладают пожаро- и взрывоопасностью. Характеристика и нормы содержания приведены в таблице 3.3

Таблица 3.3 Характеристика взрывопожароопасных и токсичных свойств сырья, продукции и отходов производства.

№ п/п	Наименование	Класс опасности ГОСТ12.1.005-88	Агрегатное состояние при нормальных условиях	Плотность паров (газа) по воздуху, кг/м ³	Растворимость в воде, % масс.	Возможно ли воспламенение или взрыв при воздействии на него		Температура			
						Воды	Кислорода	Кипения	Плавления	Самовоспламенения	Вспышки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Фракция 80-165°C	4	ЛВЖ, бесцветная, прозрачная жидкость	-	Нет	Нет	Да при иницировании	80-165	-	300	-35
2	Стабильный катализат.	4	-//-	-	Нет	Нет	-//-	32-205	-	255-370	От -27 до -39
3	Водород-содержащий газ (ВСГ)	4	ГГ, бесцветный газ без запаха	0,29-0,29	Водород и метан не растворяются	Нет	Да при иницировании	-	-	510	-
4	Водород, H ₂	-	-//-	0,069	Нет	Нет	-//-	-252	-	510	-
5	катализатор REF-23	3	Негорючий; экструдаты	-	Нет	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3.3

№ п/п	Пределы воспламенения				ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)
	Концентрационные (% об.)		Температурные °С			
	Нижний	Верхний	Нижний	Верхний		
	13	14	15	16	17	18
1	0,9	7,5	-39	-8	100	Оказывает наркотическое действие. При очень высоких концентрациях мгновенная потеря сознания, при умеренных - головная боль, судороги, нарушение сердечной деятельности. При попадании на кожу вызывает острые и хронические воспаления.
2	0,76	5,0	-39	+3	100	-//-
3	4,0	75,0	-	-	-	При высоких концентрациях вызывает удушье вследствие недостатка кислорода.
4	4,0	75,0	-	-	-	Физиологически инертный газ, лишь в очень высоких концентрациях вызывает удушье.
5	-	-	-	-	1,5	Пыль носителя катализатора- оксида алюминия вызывает алюминоз лёгких, утомляемость, одышку, кашель, раздражает слизистые, платина обладает аллергическим воздействием на кожу и верхние дыхательные пути.

Экологическая безопасность

Защита селитебной зоны

Проектируемая установка ректификационной колонны относится к классу I «Производства по переработке нефти», согласно Сан ПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03[С-3]. Санитарно-защитная зона составляет 1000м. Территория санитарно-защитной зоны предназначена для:

- обеспечения снижения уровня воздействия до требуемых гигиенических нормативов по всем факторам воздействия за ее пределами;
- создания санитарно-защитного барьера между территорией предприятия (группы предприятий) и территорией жилой застройки;
- организации дополнительных озелененных площадей, обеспечивающих экранирование, ассимиляцию и фильтрацию загрязнителей атмосферного воздуха и повышение комфортности микроклимата.

Анализ воздействия объекта на атмосферу

Работа установки связана с выбросами вредных веществ в атмосферу. Нормативы выбросов регламентируются ГН 2.1.6.1339-03[С-9]

Выбросы подразделяются на организованные и неорганизованные.

К организованным выбросам загрязняющих веществ в атмосферу от установки ректификационной колонны сбросы дымовых газов после трубчатых печей в общую дымовую трубу, вентиляционные выбросы из компрессорной и насосных.

К неорганизованным выбросам относятся выбросы через неплотности аппаратов, запорной, регулирующей и предохранительной аппаратуры, фланцевых соединений, уплотнений вращающихся валов и т. д.

Количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от объектов установки ректификационной колонны определено в соответствии с технологическими данными и указано в таблице 3.4.

Таблица 3.4 Количество выбросов в атмосферу от объектов установки

Наименование сброса	Количество образования выбросов по видам (т/год)	Условие (метод) ликвидации, обезвреживания, утилизации	Периодичность выбросов часов в год	ОБУВ (мг/м ³)	Примечание
1	2	3	4	5	6
Неорганизованные выбросы					
По установке:					
-сероводород	0,0066			-	
- бензол	1,056			-	
- ксилол	2,44			-	
- толуол	1,624		8000	-	
- этилбензол	0,704			--	
- углеводороды пред. C ₁ -C ₁₀	25,21			1	
Организованные выбросы					
По установке: Печи					
- азота диоксид	9,808			45,7	
- азота оксид	1,594	без очистки	8000	7,41	
- ангидрид сернистый	13,250			61,8	
- углерода оксид	6,790			31,7	
- метан	1,830			8,6	
Насосы:- углеводороды пред. C ₁ -C ₁₀	0,172			1	
Компрессорная: - углеводороды пред. C ₁ -C ₁₀	0,285		8000	1	

Анализ воздействия объекта на гидросферу

Количество и характеристика загрязнений, отводимых с установки со сточными водами, приведены в таблице 3.5

Так как сточные воды закачиваются в пласт, то отходов от этих систем не будет.

Таблица 3.5 Количество и характеристика загрязнений, отводимых с установки со сточными водами

Наименование стока	Количество образования сточных вод (м ³ /ч)	Условия (метод) ликвидации, обезвреживания, утилизации	Периодичность выбросов	Установленная норма содержания загрязнений в стоках, (мг/л)
1	2	3	4	5
Стоки от охлаждения компрессора водородсодержащего газа Кр-1/1,2	5,8	закачка в пласт	8000+340ч (1 раз в 2 года)	нефтепродукты до 5 мг/л
Стоки от холодильника газопродуктовой смеси риформинга Т-8	3,0	закачка в пласт	8000	условно чистый сток
Стоки после промывки и пропарки аппаратов	5,0	закачка в пласт	1 раз в году	нефтепродукты до 50 мг/л
Стоки бытового корпуса операторной	3,25 0,14	закачка в пласт	постоянно	взвешенные вещества - до 200 мг/л, сухой остаток - до 150 мг/л, аммонийный азот - 3,2мг/л, фосфаты- 0,4 мг/л, хлориды - 0,3 мг/л

Анализ воздействия объекта на литосферу

К твердым отходам производства относится отработанный катализатор.

Сведения об их количестве, характеристика и рекомендации по переработке приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6. Твердые отходы

Наименование отхода	Место складирования	Периодичность образования	Условие (метод) и место захоронения, обезвреживания утилизации	Количество (кг/год)	Примечания
1	2	3	4	5	6
Отработанный катализатор риформинга REF-23	реагентное хозяйство	1 раз в 8 лет	1 раз в 8 лет отправляется на завод для извлечения ценных металлов	210	

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Определение поражающих факторов вероятных чрезвычайных ситуаций

В районе местоположения установки возможны следующие чрезвычайные ситуации:

1. Природного характера:

- низкие температуры;
- сильный ветер;
- лесные, торфяные пожары.
- затопление паводковыми водами

На данной установке, таковыми могут быть все из вышеперечисленных факторов. Низкие температуры, как частое явление в северных регионах, могут привести к разгерметизации оборудования, отопления и соответственно к утечке газа. Предостережением такого фактора является постоянный контроль за работой оборудования и системой контроля температурного режима.

Сильные ветра, приводят к поломкам конструкций, быстрому распространению отравляющих газов на большие территории и т.д. Следствием этого могут пострадать много людей и животных. Основной мерой предостережения является контроль за герметизацией оборудования.

Высокие температуры и отсутствие дождей в летний период являются основными причинами возгорания газов и торфяных залежей, последствием которых могут стать пожары не только на производстве, но и возгорание окружающих лесов. Предотвращением этого является контроль за герметизацией оборудования, предотвращение утечек, избежание открытого огня на территории цеха, исправность изоляции и т.д. Для этого проводится постоянный контроль за метеоусловиями, производится обвалование установки.

2. Техногенного характера:

-пожары – могут привести к взрыву оборудования и к гибели людей;

-взрывы газоздушных смесей;

-разливы вредных веществ – приводят к отравлению персонала;

Для предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера необходимо чётко соблюдать нормы технологического режима и правила техники безопасности.

3. Социально-политического характера

-террористические акты.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Условия труда

На установке ректификационной колонны, согласно N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда", присутствуют вредные условия труда (3 класс). В зависимости от проведенной спецоценки условия классифицируются:

1. подкласс 3.1 (вредные условия труда 1 степени) - условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, после воздействия которых измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается, как правило, при более длительном, чем до начала следующего рабочего дня (смены), прекращении воздействия данных факторов, и увеличивается риск повреждения здоровья;

2. подкласс 3.2 (вредные условия труда 2 степени) - условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых способны вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию начальных форм профессиональных заболеваний или профессиональных заболеваний легкой степени тяжести (без потери профессиональной трудоспособности), возникающих после продолжительной экспозиции (пятнадцать и более лет);

Гарантии и компенсации

1. На установке принят двухсменный четырёхбригадный график работы согласно "Списку производств, цехов, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых даёт право на дополнительный отпуск и сокращённый рабочий день", М., 1977, гл. IX, п. 45 и 54а (содержание серы в сырье 0,005 масс. %).

2. Дополнительный отпуск (12 календарных дня).

3. Всем работникам установки с целью нейтрализации вредных для организма веществ выдается молоко в количестве 0,5 литра в сутки.

4. При достаточном трудовом стаже выход на льготную пенсию.

Обеспечение СИЗ

Для предотвращения несчастных случаев, заболеваний и отравлений, связанных с производством, весь обслуживающий персонал установки обеспечивается средствами индивидуальной защиты.

Нормы бесплатной выдачи спецодежды и спецобуви приняты на основании приказа от 1 июня 2009 года N 290н «Об утверждении Межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты (с изменениями на 12 января 2015 года)»

Список индивидуальных средств защиты (спецодежда, спецобувь, приспособления) с указанием норм выдачи и носки приведён в таблице 3.7.

Таблица 3.7 Нормы выдачи СИЗ

Профессии работающих	Средства индивидуальной защиты работающих	Срок службы	
Старший оператор, оператор печи, оператор технологических установок;	Костюм из хлопчатобумажной ткани с огнезащитной пропиткой или из огнестойкой ткани на основе полиамидных волокон	2 на 2 года	
	Плащ влагозащитный	дежурный	
	Футболка	4 на 2 года	
	Перчатки с полимерным покрытием	6 пар	
	Перчатки резиновые или из полимерных материалов	6 пар	
	Каска защитная	1 на 2 года	
	Подшлемник под каску (с однослойным или трехслойным утеплителем)	2 на 2 года	
	Наушники противозумные	до износа	
	Очки защитные открытые	до износа	
	Пояс предохранительный	до износа	
	Респиратор	до износа	
	Полумаска или маска с противогазовыми фильтрами	до износа	
	На наружных работах зимой дополнительно:		
	Костюм из хлопчатобумажной ткани с огнезащитной пропиткой или из огнестойкой ткани на основе полиамидных волокон на утепляющей прокладке	1 на 2 года	
	Белье нательное утепленное	2 комплекта	
	Жилет утепленный	1	
	Ботинки утепленные с жестким подноском или Сапоги утепленные с жестким подноском	1 пара на 2,5 года	
	Валенки	1 пара на 2,5 года	
	Галоши на валенки	1 пара	
	Шапка-ушанка	1 на 3 года	
	Перчатки с защитным покрытием, нефтеморозостойкие	6 пар	
	Перчатки шерстяные	6 пар	
	Рукавицы меховые в IV и особом поясах	1 на 2 года	

Обеспечение смывающими средствами

Каждый работник должен быть обеспечен смывающими и (или) обезвреживающих средств на основании приказа Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 17 декабря 2010г. №1122н. Типовые нормы смывающих средств приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8. Нормы выдачи смывающих средств

Виды смывающих и (или) обезвреживающих средств	Наименование работ и производственных факторов	Норма выдачи на 1 работника в месяц
1	2	3
I. Защитные средства		
Средства гидрофильного действия (впитывающие влагу, увлажняющие кожу)	Работы с органическими растворителями, техническими маслами, смазками, сажей, лаками и красками, смолами, нефтью и нефтепродуктами и т.д.	100 мл
Средства гидрофобного действия (отталкивающие влагу, сушащие кожу)	Работы с водными растворами, водой (предусмотренные технологией), СОЖ на водной основе, дезинфицирующими средствами, растворами цемента, извести, кислот, щелочей, солей, щелочемасляными эмульсиями и другими водорастворимыми материалами и веществами;	100 мл
Средства для защиты кожи при негативном влиянии окружающей среды	Наружные, сварочные и другие работы, связанные с воздействием ультрафиолетового излучения диапазонов А, В, С или воздействием пониженных температур, ветра	100 мл
Средства для защиты от бактериологических вредных факторов (дезинфицирующие)	Работы с бактериально опасными средами; при нахождении рабочего места удаленно от стационарных санитарно-бытовых узлов; работы, выполняемые в закрытой специальной обуви;	100 мл
Средства для защиты от биологических вредных факторов (от укусов членистоногих)	Наружные работы (сезонно, при температуре выше 0° Цельсия) в период активности кровососущих и жалящих насекомых и паукообразных	200 мл

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3
II. Очищающие средства		
<p>Мыло или жидкие моющие средства в том числе: для мытья рук</p> <p>для мытья тела</p>	<p>Работы, связанные с легкосмываемыми загрязнениями</p>	<p>200 г (мыло туалетное) или 250 мл (жидкие моющие средства в дозирующих устройствах) 300 г (мыло туалетное) или 500 мл (жидкие моющие средства в дозирующих устройствах)</p>
<p>Твердое туалетное мыло или жидкие моющие средства</p>	<p>Работы, связанные с трудносмываемыми, устойчивыми загрязнениями: масла, смазки, нефтепродукты, лаки, краски, смолы, клеи, битум, мазут, силикон, сажа, графит, различные виды производственной пыли (в том числе угольная, металлическая)</p>	<p>300 г (мыло туалетное) или 500 мл (жидкие моющие средства)</p>
<p>Очищающие кремы, гели и пасты</p>	<p>Работы, связанные с трудносмываемыми, устойчивыми загрязнениями.</p>	<p>200 мл</p>
III. Регенерирующие, восстанавливающие средства		
<p>Регенерирующие, восстанавливающие кремы, эмульсии</p>	<p>Работы с органическими растворителями, техническими маслами, смазками, сажей, лаками и красками, смолами, нефтью и нефтепродуктами, графитом, различными видами производственной пыли (в том числе угольной, стекольной и другими), мазутом, СОЖ на водной и масляной основе, с водой и водными растворами (предусмотренные технологией),</p>	<p>100 мл</p>

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К22	Ермошин Иван Анатольевич

Институт	Инженерная школа новых производственных технологий	Кафедра	Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования.</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.*
2. *Расчет технико-экономических показателей*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Ермошин Иван Анатольевич		

Анализ эффективности действующего производства

1.1 Расчёт производственной мощности

Производственная мощность - это максимально возможный выпуск продукции в определенной номенклатуре и ассортименте при наиболее полном использовании в течение года оборудования и производственных площадей, применении прогрессивных технических норм производительности оборудования и удельных норм расхода сырья и материалов. Под производственной мощностью оборудования следует понимать его максимальную способность выпускать продукцию за определенный календарный период времени при наилучших организационно-технических условиях. Производственная мощность выражается количеством выпускаемой продукции и измеряется в натуральных единицах.

Все аппараты нефтехимических предприятий делятся на несколько групп:

1. основное оборудование;
2. вспомогательное оборудование;
3. аппараты, выполняющие подготовительные функции.

Поскольку производственный процесс является непрерывным, на предприятии планируется общая остановка на капитальный ремонт.

Расчет производственной мощности осуществляется по формуле:

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n,$$

где $P_{\text{час}}$ - часовая производительность по целевому компоненту, кг/час;

$P_{\text{час}} = 44303,80$ кг/ч, таблица 6;

n - количество однотипного оборудования, $n=1$.

$T_{\text{эфф}}$ - эффективное время работы оборудования за год по выпуску данного вида продукции, час;

Эффективный фонд времени оборудования:

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

где $T_{\text{ном.}}$ - номинальный фонд работы оборудования, 8660 ч;

$T_{\text{ппр}}$ - время затрачиваемое на капитальный ремонт, 760ч.

$$T_{\text{эфф}} = 8660 - 760 = 7900 \text{ часов}$$

$$M = P_{\text{ч}} \cdot T_{\text{эфф}} = 44303,80 \cdot 7900 = 390000000 \text{ кг/год}$$

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты. Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эфф}} / T_{\text{н}}$$

$$K_{\text{экс}} = 7900 / 8660 = 0,91$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}} / Q_{\text{мах}}$$

где $Q_{\text{пп}}$ - производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{\text{мах}}$ - максимальная производительность в единицу времени.

$$K_{\text{инт}} = 5445 / 5500 = 0,99$$

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им.}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}},$$

$$K_{\text{им.}} = 0,91 \cdot 0,99 = 0,9$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ($N_{\text{год}}$):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им.}} \cdot M,$$

$$N_{\text{год}} = 0,9 \cdot 390000000 = 350000000 \text{ кг/год}$$

Вывод: по результатам расчета производственная мощность загружена на 90%.

1.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

Явочная численность:

$$N_{\text{яв}} = N_{\text{обсл}} \cdot K \cdot S,$$

где К - число аппаратов, которые необходимо обслужить, 4 шт;

S - число смен в сутки при установленном режиме работы;

$N_{обсл}$ - коэффициент обслуживания основных аппаратов.

$N_{яв}=0,7 \cdot 4 \cdot 2 = 6$ человек.

Штатная численность:

$$N_{шт} = N_{яв} \cdot T_{кал} / T_{ном}$$

$$N_{шт1} = 6 \cdot 365 / 183 = 12 \text{ человек.}$$

Списочная численность:

$$N_{сп} = N_{шт} \cdot T_{ном} / T_{эф}$$

$$N_{сп1} = 6 \cdot 183 / 152 = 7 \text{ человек.}$$

Сумма основных рабочих на установках -12 человек.

Сумма вспомогательных рабочих- 2 человек.

Сумма служащих, ИТР - 4 человек.

На предприятиях нефтехимической промышленности в зависимости от условий труда и степени вредности производства длительность рабочего дня составляет 12 часов. Поэтому возникает потребность в организации постоянной работы. Для этого на заводе организована 2-х сменная работа и составляется график сменности, т.к. работает 4 бригады (А, Б, В, Г) с дополнительными днями отдыха.

Таблица 4.1 График сменности рабочих

Смена	Время	Дни выходов																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	8-20	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А
2	20-8	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В
Отсыпной			Г		В		Б		А		Г		В		Б		А		Г	
Выходной		В		Г		В		Г		В		Г		В		Г		В		Г
		А	А	Б	Г	А	В	Б	Б	А	А	Б	Г	А	В	Б	Б	А	А	Б

Из графика сменности можно рассчитать величину сменооборота:

$$T_{см-о} = a \cdot b,$$

где $T_{см-о}$ —длительность сменооборота;

a– количество бригад;

b–количество дней, в течение которых бригада работает одну смену.

$$T_{см-о} = 4 \cdot 1 = 4 \text{ дней.}$$

Сменооборот позволяет нам определить количество выходных дней:

$$T_{вых} = \frac{T_{кал}}{T_{см-о}} \cdot n,$$

где $T_{вых}$ — количество выходных за год;

$T_{кал}$ – время календарное;

n– количество выходных за один сменооборот.

$$T_{вых} = \frac{365}{4} \cdot 2 = 182 \text{ дня}$$

Зная количество выходных за год, можно определить эффективное время работы за год:

$$T_{эфф} = T_{кал} - T_{вых} - T_{отп} - T_{нев},$$

где $T_{эфф}$ - эффективное время рабочего.

$$T_{эфф} = 365 - 182 - 31 - 10 = 142 \text{ дня.}$$

Рассчитаем количество эффективного времени в часах:

$$T_{эфф} = 142 \cdot 12 = 1704 \text{ часов.}$$

Таблица 4.2-Баланс времени одного среднесписочного рабочего на год при 12-ти часовом рабочем дне и 4-х бригадном графике

Показатели	Дней	Часов
1. Календарный фонд рабочего времени	365	4380
2. Нерабочие дни:		
выходные	182	2184
3. Номинальный фонд рабочего времени	183	2196
4. Планируемые выходные:		
отпуск	31	372
отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	-	-
5. Эффективный фонд рабочего времени	152	1824

Произведем расчет фонда эффективного рабочего времени и определим заработную плату рабочих. Система оплаты труда основных рабочих повременнo-премиальная. Годовой фонд заработной платы любой категории трудящихся можно рассчитать по формуле:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{осн}}$ - фонд заработной платы основных рабочих, руб.,

$Z_{\text{доп}}$, - фонд заработной платы дополнительных рабочих, руб.

Фонд основной заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + \text{Пр} + D_{\text{н.вр}} + D_{\text{пр.дни}},$$

где $Z_{\text{тар}}$ – тарифный фонд заработной платы, тыс. руб;

Пр– оплата премий, тыс. руб;

$D_{\text{н.вр}}$ – доплата за работу в ночное время, тыс. руб;

$D_{\text{пр.дни}}$ – доплата за работу в праздничные дни, тыс. руб;

Тарифный фонд заработной платы равен:

$$Z_{\text{тар}} = \sum C_{\text{сп}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{эф.раб}},$$

где $C_{\text{сп}}$ – списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

$T_{\text{сп}}$ – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Дополнительная зарплата ($Z_{\text{доп}}$):

$$Z_{\text{доп}} = (D_{\text{н}} \cdot Z_{\text{осн}}) / T_{\text{эфф}},$$

где $D_{\text{н}}$ – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

Доплата за работу в ночное время осуществляется в размере 40% от тарифной ставки. Доплата за работу в праздничные дни - двойной тариф. Премиальные - 50% от тарифной ставки

Таблица 4.3 Фонд заработной платы основных рабочих

Профес-сия	Раз-ряд	$T_{\text{ст}}$ руб/ч	$N_{\text{сп}}$ чел	$T_{\text{эф}}$ ч.	$Z_{\text{ТАРТ}}$.руб.	$D_{\text{ПРЕМ}}$ т.руб	$D_{\text{НВ}}$ Т.руб	$D_{\text{ПРАЗ}}$ Т.руб	$Z_{\text{осн}}$ Т.руб
старший оператор	6	85,42	4	1824	623,224	311,612	45,362	16,061	996,260
Оператор	5	55,48	8	1824	809,564	242,869	58,613	20,753	1131,8
ИТОГО									2128,060

Фонд заработной платы основных рабочих составил 2128060руб. Труд инженерно-технического персонала оплачивается по месячным окладам в соответствии с принципами повременной оплаты труда.

Для работников с подобной системой оплаты труда основной фонд заработной платы рассчитывается как:

$$Z_{\text{осн}} = \text{пмес} \cdot T_{\text{окл}} \cdot N_{\text{сп}}$$

где пмес - количество месяцев;

$T_{\text{окл}}$ – месячный оклад, руб.

Таблица 4.4– Фонд заработной платы ИТР

Должность	Т _{окл} ,руб	Нсп, чел	З _{осн} ,руб
Главный технолог., нач. установки	80000	1	960000
Механик установки	60000	1	720000
Энергетик установки	55000	1	660000
Инженер КИП и АСУ	40000	1	480000
ИТОГО			2820000

Общий фонд заработной платы ИТР составил 3439641 руб. Вспомогательным рабочим помимо тарифа выплачивается дополнительная заработная плата из расчёта 40% от тарифа.

Таблица 4.5 Фонд заработной платы вспомогательных рабочих

Профессия	Раз- ряд	Тст руб/ч	Нсп чел	Тэф ч.	ЗТАР руб.	ДПРЕМ руб	ДНВ руб	ДПРАЗ руб	З _{осн} руб
Слесарь-ремонтник	4	26,45	4	2796	295816	147908	39442	13962,6	497130
Электрик	4	26,45	4	2796	295816	147908	39442	13962,6	497130
Слесарь КИПиА	4	26,45	4	2796	295816	147908	39442	13962,6	497130
ИТОГО									1491390

Фонд заработной платы вспомогательных рабочих составил 1491390руб. Общий фонд заработной платы за год составил 7059091 руб.

Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

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

Таблица 4.6 Расчет годовой потребности в сырье, материалах и электроэнергии.

Наименование сырья	Ед. изм.	Цена, руб.	Расход		Затраты, руб.	
			На ед.гот.прод., т/т	На весь объем производства, т 350000т/год	На ед. гот.прод.	На весь объем производства 350000т/год
1. Сырая нефть	т.	24200	1,145	400750	27709	9698150000
2. Электроэнергия	кВт/ч	5,4	245,8	194182	300	105000000
Итого					27739	9708635825

Расчёт стоимости основных производственных фондов и амортизационных отчислений от них

Производственные фонды представляют собой совокупность средств труда, необходимых для осуществления непрерывного процесса производства. Производственные фонды обслуживают производство в течение длительного времени, они участвуют в процессе производства продукции и переносят стоимость на готовый продукт по частям, по мере своего износа и не меняют своей натуральной формы.

Оборотные фонды в нефтехимической промышленности составляют 20 -25% от основных фондов.

Таблица 4.7 Стоимость основных фондов.

Наименование	Стоимость, руб.	Нормы амортизации	Годовые амортизационные отчисления, руб
Здания	70000000	5	3500000
Аппараты и оборудование	61 000 000	15	9150000
Приборы КИП и А, лабораторное оборудование	52 500 000	10,3	5407500
Инвентарь и инструменты	10 000 000	1,6	160000
Итого	193 500 000		18217500

Амортизационные отчисления от зданий: $A_{год} = 70000000 * 5 / 100 = 3500000$

От аппаратов и оборудования: $A_{год} = 61000000 * 15 / 100 = 9150000$

От приборов КИП и А и лабораторий: $A_{год} = 52500000 * 10,3 / 100 = 5407500$

От инвентаря и инструментов: $A_{год} = 1000000 * 1,6 / 100 = 160000$

Итого: $A_{год} = 18217500$ руб.

Таблица 4.8 - Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (Q)

Наименование затрат	Еденицы изм.	Сумма на 1 т, руб.	Сумма затрат на производство 350000 т, тыс. руб
1 сырье	Руб.	27709	9698150000
2 энергия на технологические цели		300	105000000
3 Заработная плата основных работающих		53,73	18805500
3.1 Отчисления на социальные нужды основных рабочих		16,12	5642000
Итого условно-переменных издержек		28 078,85	9 827 597 500,00
4Общепроизводственные расходы			
4.1Заработная плата ИТР		71,21	24923500
Отчисления на социальные нужды ИТР		21,36	7476000
4.1Заработная плата вспомогательных рабочих		37,66	13181000
Отчисления на социальные нужды вспомогательных рабочих		11,3	3955000
4.2Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования			
амортизация		460,04	18217500
ремонт		13,8	4830000
Итого условно-постоянных издержек		615,37	215379500
цеховая себестоимость		28 694,22	10 042 977 000,00
5 Управленческие расходы (5% к цеховой себестоимости)		1434,711	502148850
Заводская себестоимость		30 128,93	10 545 125 850,00
6 Коммерческие расходы (1% к заводской себестоимости)		301,28931	105451258,5

Продолжение таблицы 4.8

Полная себестоимость		30 430,22	10 650 577 108,50
Условно-переменные издержки		28 078,85	9 827 597 500,00
Условно-постоянные издержки		2351,37031	822979608,5

1.3 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = С \cdot (1 + P/100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$$Ц = 30430,22 \cdot (1 + 10/100) = 33473,24 \text{ руб./т}$$

$$V_{\text{реал.}} = 33473,24 \cdot 350000 = 11715634700 \text{ руб.}$$

1.4 Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ($V_{\text{пр}}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

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

$$V_{\text{пр}} = 30\,430,22 \text{ руб./т}$$

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{\text{кр}} = \frac{\text{ИЗД}_{\text{пост}}}{Ц_{\text{г.п.}} - \text{ИЗД}_{\text{пер/г.п.}}}$$

где $Ц_{\text{гп}}$ – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

Изд. пер/гп – удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну).

1.5 Определение цены готовой продукции

$$Q_{\text{кр}} = \frac{822979608,5}{33473,24 - 2351,37} = 152562 \text{ т/год}$$

2. График безубыточности при объеме производства 350000 т/год: (рисунок 1).

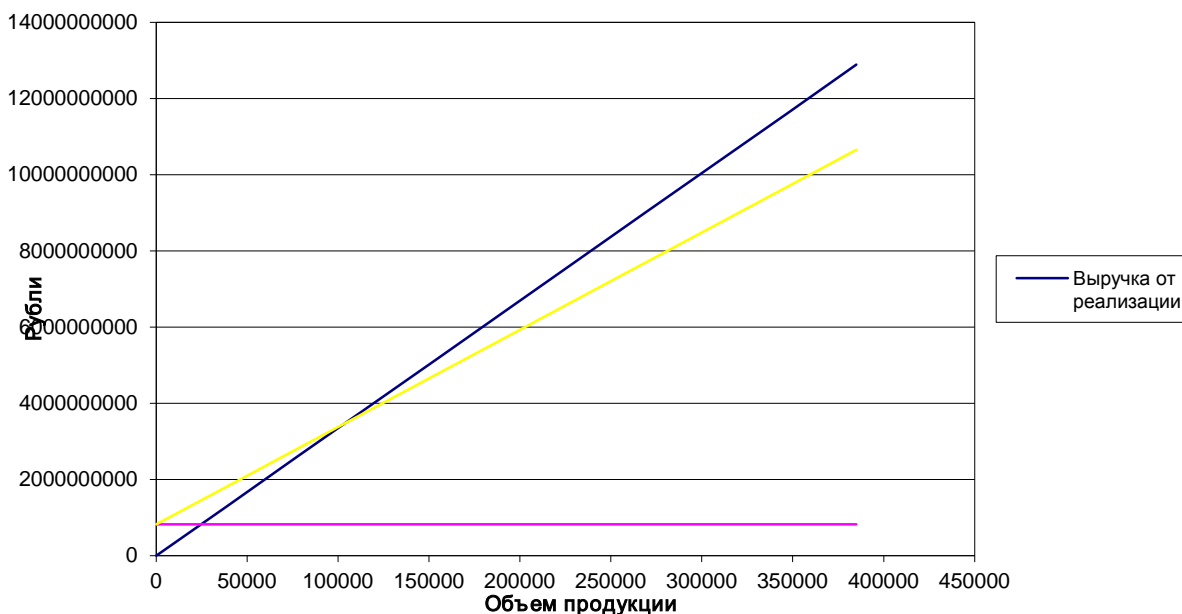


Рисунок 1. График безубыточности при 350000 т/год

2. Повышение эффективности производства

Увеличение объема ее производства за счет полного использования производственной мощности предприятия. Выбираем «эффект масштаба», т.е. при увеличении объема производства продукции на имеющихся производственных мощностях возрастают только переменные издержки, постоянные издержки остаются постоянными, в результате снижается себестоимость на единицу готовой продукции.

2.1 Расчет себестоимости готового продукта в проектном году

В проектном году увеличиваем мощность на 10 %

$$N_{\text{год}} = 1,1 \cdot 350000 = 385000 \text{ т/год.}$$

2.2 Определение цены готовой продукции

$$Ц = 33473,24 \text{ руб./т}$$

$$V_{\text{реал.}} = 33473,24 \cdot 385000 = 12887197400 \text{ руб.}$$

Таблица 4.9 Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции в проектируемом году (Q)

Наименование затрат	Единицы изм.	Сумма на 1 т, руб.	Сумма затрат на производство 385000 т, тыс. руб
1 сырье	Руб.	30479,90	11734761500,00
2 энергия на технологические цели		330,00	127050000,00
3 Зарботная плата основных работающих		48,84545455	18805500,00
3.1 Отчисления на социальные нужды основных рабочих		14,65454545	5642000,00
Итого условно-переменных издержек		30873,40	11886259000,00
4Общепроизводственные расходы		0	0,00
4.1Зарботная плата ИТР		64,73636364	24923500,00
Отчисления на социальные нужды ИТР		19,41818182	7476000,00
4.1Зарботная плата вспомогательных рабочих		34,23636364	13181000,00
Отчисления на социальные нужды вспомогательных рабочих		10,27272727	3955000,00
4.2Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования		0	0,00
амортизация		418,2181818	161014000,00
ремонты		12,54545455	4830000,00
Итого условно-постоянных издержек		559,4272727	215379500,00
цеховая себестоимость		26085,65455	10042977000,00
5 Управленческие расходы (5% к цеховой себестоимости)		1304,282727	502148850,00
Заводская себестоимость		27389,93727	10545125850,00
6 Коммерческие расходы (1% к заводской себестоимости)		273,8993727	105451258,50

Полная себестоимость		27663,83665	10650577108,50
Условно-переменные издержки		25526,22727	9827597500,00
Условно-постоянные издержки		2137,609373	822979608,50

2.3 Анализ безубыточности по проектному производству

Определение точки безубыточности:

1 Аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{ИЗД_{пост}}{Ц_{г.п.} - ИЗД_{ПЕР/г.п.}}$$

где $Ц_{г.п.}$ - цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$ИЗД_{пер/гп}$ - удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну).

$$Q_{кр} = \frac{947676536,63}{36261,50 - 30873,40} = 103558,4 \text{ т/год}$$

3. График безубыточности при объеме производства 385000 т/год: (рисунок 2).

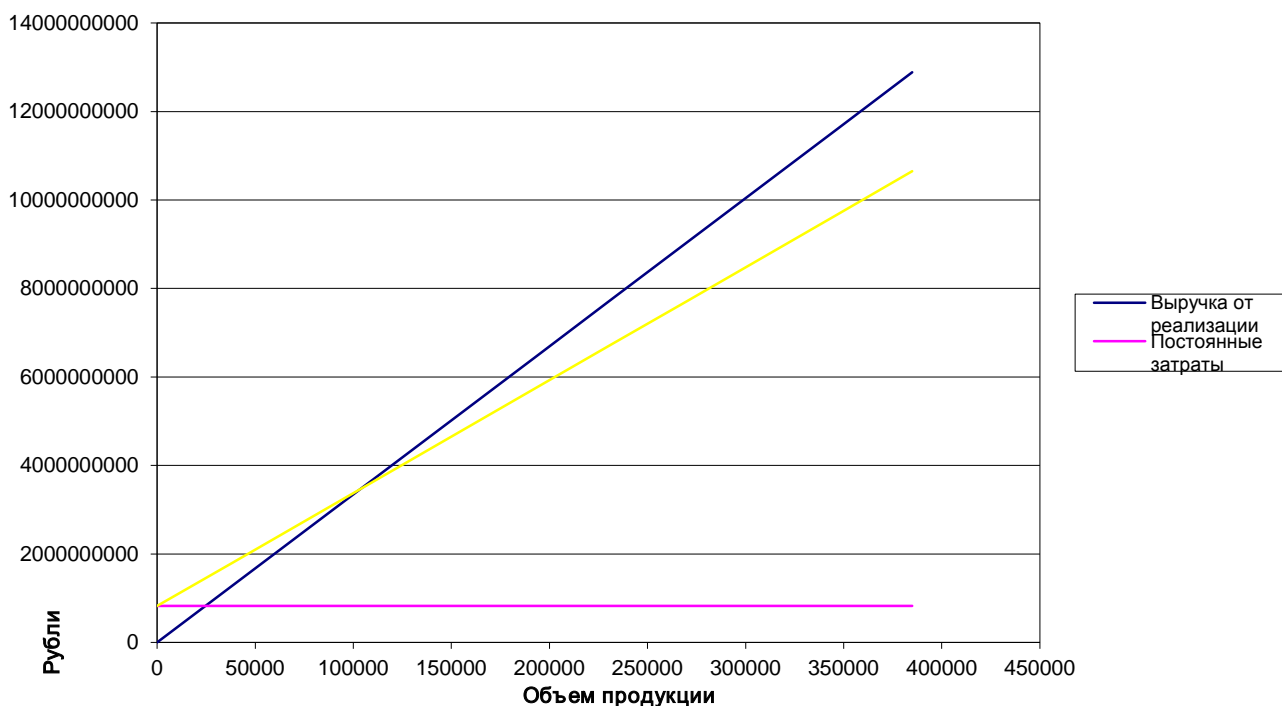


Рисунок 2. График безубыточности при 385000 т/год

3 Определение технико-экономических показателей

Таблица 4.10 Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год	Плановый год
Объем производства	т	350000,00	385000,00
Объем продаж	т	350000,00	385000,00
Цена за тонну	руб	33473,24	33473,24
Выручка от продаж	руб	11715634000,00	12887197400,00
Суммарные издержки,	руб	10650577108,50	10650577108,50
в т.ч переменные издержки	руб	9827597500,00	9827597500,00
в т. ч. постоянные издержки	руб	822979608,50	822979608,50
Операционная прибыль	руб	1065056891,50	2236620291,50

Налог на прибыль (20%)	руб	213011378,30	447324058,30
Чистая прибыль	руб	852045513,20	1789296233,20
Себестоимость 1 тонны продукции	руб	30430,22	27663,84
Среднегодовая стоимость основных средств	руб	193500000,00	193500000,00
Численность основных рабочих	чел.	12	12
Фондовооруженность	руб	16125000,00	16125000,00
Фондоотдача (объем выпущенной товарной продукции / Среднегодовая стоимость основных средств)	руб./руб.	60,55	66,60
Фондоёмкость (показатель обратный фондоотдаче)	руб./руб.	0,02	0,02
Производительность труда	руб/чел	976302833,33	1073933116,67
Рентабельность производства	%	10,00	21,00
Рентабельность продаж	%	7,27	13,88
Qкр. (критический объем продаж)	т	24254,00	23310,00
Qкр. (критический объем продаж)	руб	811859962,96	780261224,40

Вывод: В результате увеличения загрузки производственной мощности на 10 % и, соответственно, использования «эффект масштаба», мы получили следующий экономический эффект:

1. Снижение себестоимости на 1 тонну с 30 430,22 до 27663,83665 (на 9,9%).
2. Увеличение выручки от продажи с 11715634000,00 до 12887197400,00 (на 10%) .
3. Увеличение чистой прибыли с 852045513,20 до 1789296233,20 (в 2,1 раза).
4. Увеличение выплат по налогам с 213011378,30 по 447324058,30 (на 21%).
5. Увеличение показателя фондоотдачи с 60,55 до 66,60 (на 10 %).
6. Увеличение производительности труда с 976302833,33 по 1073933116,67 (на 10 %).
7. Увеличение рентабельности производства с 10 по 21,0 (в 2,1 раза) .
8. Увеличение рентабельности продаж с 7,27 по 13,88 (в 1,9 раз).
9. Точка безубыточности снизилась с 152562 до 103558,4 тонн (в 1,5 раза).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного дипломного проекта можно сделать следующие выводы:

1) в представленном дипломном проекте рассмотрены вопросы, связанные с разработкой ректификационной колонны предназначенной для разделения обезвоженной и обессоленной нефти на фракции.

2) разработана аппаратурно-технологическая схема установки первичной переработки нефти. Подобрано стандартное оборудование и средства контроля, измерения и регулирования параметров процесса;

3) произведен материальный, технологический, тепловой и конструктивно-механический расчет. В конструктивно-механическом разделе произведен расчет толщины стенок обечайки и стандартных эллиптических крышки и днища; подбор стандартных штуцеров; расчет укреплений отверстий и фланцевых соединений; расчет тарелок; расчет на ветровую нагрузку; расчет опоры.

4) в разделе безопасность и экологичность рассмотрены опасные и вредные факторы при работе установки и предусмотрены меры по их устранению.

5) в разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение рассчитали анализ безубыточности производства переработки первичной переработки нефти; построили график безубыточности производства переработки первичной переработки нефти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметов С. А. и др. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / С. А. Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов; Под ред. С. А. Ахметова. — СПб.: Недра, 2006. — 868 с.;
2. Дытнерский. Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Ч. 2. — М.: Химия, 1995. — 368с.
- 3.Поникаров И.И. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки: учеб. пособие / И.И. Поникаров, С.И. Поникаров, С.В. Рачковский. — М.: Альфа-М, 2008. — 720 с.
4. Машины и аппараты химических производств / под ред. И.И. Чернобыльского. — М.: Машиностроение, 1975. — 454 с.
5. Лацинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А.А. Лацинский, А.Р. Толчинский. — М.: Альянс, 2008. — 752 с.
6. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. — М.: Альянс, 2007. — 576 с.
- 7.ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
8. ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
9. ГОСТ Р 52857.3-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
10. ГОСТ Р 52857.4-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
11. ГОСТ Р 51273-99. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий.
12. Российская Федерация. Законы. «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [Федеральный закон №68-ФЗ].
13. Российская федерация. Законы. «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации ЧС». [Постановление правительства РФ №794 от 30.12.2003]. - М.: Инфа-М, 2003 - 12с.
14. Технологический регламент установки переработки нефти ЭЛОУ-АВТ. ЗАО филиал НефтеХимСервис ЯНПЗ – 2010. – 23 с.
15. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. М.: Химия, 1965. 310 с.
16. В. И. Анурьев. Справочник конструктора машиностроителя. – Москва «Машиностроение» 2001 .