

**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
<b>Проект ректификационной колонны установки риформинга Стрежевского НПЗ</b>

УДК 665.642.44.023.23.665.63.013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К41	Ильинский Николай Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	К.Э.Н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Штейнле А.В.	К.М.Н., доцент		

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	К.Т.Н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

## Запланированные результаты обучения по ООП 18.03.01 в 2018 г.

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 профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

**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
4К41	Ильинский Николай Евгеньевич

Тема работы:

**Проект ректификационной колонны установки риформинга Стрежевского НПЗ**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

1198/с от 21.02.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(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.).*

Ректификационная колонна колпачкового типа Т-202, для отделения легкой фракции стабильного гидрогенизата, производительностью 11111 т/г.

Содержание НКК:

$x_F = 0,4608 \approx 0,461$  и  $\bar{x}_F = 0,345$  – мольная и массовая доли содержания низкокипящего компонента (в дальнейшем НК) в питании;

$x_D = 0,97$  и  $\bar{x}_D = 0,965$  – мольная и массовая доли содержания НК в дистилляте;

$x_W = 0,008$  и  $\bar{x}_W = 0,006$  – мольная и массовая доли содержания НК в кубовом остатке.

Рабочее давление в колонне: 0,45 МПа

<p align="center"><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p align="center"><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 align="center">Реферат Введение</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Описание технологической схемы</li> <li>2. Расчет ректификационной колонны</li> <li>3. Социальная ответственность</li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> </ol> <p align="center">Заключение Список литературы Приложение</p>
<p align="center"><b>Перечень графического материала</b></p> <p align="center"><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Технологическая схема 1 лист. Колонна ректификации. Чертеж общего вида 2 листа. Экономические показатели 1 лист.</p>
<p align="center"><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p align="center"><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p align="center"><b>Раздел</b></p>	<p align="center"><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p align="center">Верховская М.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p align="center">Штейнле А.В.</p>
<p>Конструктивно-механический раздел</p>	<p align="center">Беляев В.М.</p>
<p align="center"><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<p align="center"><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Константиновна Ольга	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К41	Ильинский Николай Евгеньевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4К41	Ильинскому Николаю Евгеньевичу

<b>Институт</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	Технология и оборудование химических и нефтехимических производств
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – ректификационная колонна для установки риформинга «Стрежевского НПЗ».
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Производственная безопасность</b>	<p>1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности</p> <p>1.1.1 Повышенный уровень вибрации</p> <p>1.1.2 Повышенная температура рабочей зоны</p> <p>1.1.3 Повышенный уровень шума</p> <p>1.2 Анализ опасных выявленных факторов при эксплуатации проектируемой ректификационной колонны</p> <p>1.2.1 Электрический ток</p> <p>1.2.2 Повышенная температура поверхности оборудования</p>
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	<p>2.1 Защита гидросферы и литосферы</p> <p>2.2 Защита атмосферы</p>
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<p>3.1 Пожарная и взрывная безопасность</p> <p>3.2 Действия работников при</p>

	возникновении аварий и аварийных ситуаций.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	"Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014) Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Штейнле Александр Владимирович	К.м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К41	Ильинский Николай Евгеньевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4К41	Ильинскому Николаю Евгеньевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	Технология и оборудование химических и нефтехимических производств
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

:

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></li> </ul>	<p><i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i></li> </ul>	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i></li> </ul>	<p><i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Оценка расходов на производство</i></li> </ul>	<p><i>Определение целей и</i></p>

<i>расчетов и проектирования реактора с перемешивающим устройством..</i>	<i>ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i></li> </ul>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i></li> </ul>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования низина в модельных растворах</i>
<b>Перечень графического материала:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i></li> <li><i>Матрица SWOT</i></li> <li><i>График проведения НТИ</i></li> <li><i>Определение бюджета НТИ</i></li> <li><i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i></li> </ul>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Верховская Марина Витальевна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4К41	Ильинский Николай Евгеньевич		

## Оглавление

Реферат.....	13
Abstract .....	14
ВВЕДЕНИЕ.....	15
1. Обзор литературы .....	17
1. Описание технологической схемы.....	20
3. Расчет ректификационной колонны.....	22
3.1 Технологический расчет.....	22
3.1.1 Расчет материального баланса ректификационной колонны Т-202 .....	22
3.1.2 Гидравлический расчет ректификационной колонны Т-202	31
3.1.3 Расчет теплового баланса ректификационной колонны Т-202	35
3.2 Механический расчет .....	39
3.2.1 Выбор конструкционного материала.....	39
3.2.2 Механический расчет колонны .....	39
3.3.1 Расчет обечайки .....	43
3.3.2 Расчет днища и крышки .....	44
3.3.3 Расчет тарелок .....	46
3.3.4 Расчет фланцевого соединения [7].....	46
3.3.5 Расчет штуцеров.....	60
3.3.6 Расчет укрепления отверстий .....	62
3.3.7 Расчет весовых характеристик колонны .....	63
3.3.8 Расчет на ветровую нагрузку .....	64
3.3.8.1 Определение периода собственных колебаний колонны .....	64
Резюме по разделу «Механический расчет».....	73

4.	Социальная ответственность .....	75
	Введение.....	75
4.1	Производственная безопасность .....	75
4.1.1	Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемой ректификационной колонны.....	76
4.1.1.1	Повышенный уровень вибрации .....	77
4.1.1.2	Повышенная температура воздуха рабочей зоны .....	77
4.1.2	Анализ опасных выявленных факторов при эксплуатации проектируемой ректификационной колонны.....	78
4.1.2.1	Электрический ток.....	78
4.1.2.2	Повышенная температура поверхности оборудования. ....	79
4.2	Экологическая безопасность .....	80
4.2.1	Защита гидросферы и литосферы .....	83
4.2.2	Защита атмосферы .....	83
4.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	84
4.3.1	Пожарная и взрывная опасность .....	84
4.3.2	Действия работников при возникновении аварий и аварийных ситуаций. ....	85
4.3.3	Способы и средства пожаротушения.....	86
4.4	Безопасность при чрезвычайных ситуациях .....	87
4.5	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	88
<u>5.</u>	<u>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....</u>	<u>90</u>
5.1	SWOT-анализ.....	90
5.2	Морфологический анализ .....	92

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом .....	92
5.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	92
5.3.2 План проекта .....	93
5.4 Расчет годовой производственной мощности.....	95
5.5 Планирование себестоимости продукции .....	96
5.6 Финансовый план.....	97
5.7 План доходов и расходов .....	97
5.8 Проведение анализа безубыточности инженерного проекта .....	99
5.9 Оценка эффективности инвестиционного проекта .....	99
5.10 Определение потребности в инвестициях.....	100
5.11 Чистая текущая стоимость (ЧДД) .....	102
5.12 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (ИД).....	102
5.13 Срок окупаемости инвестиций .....	103
Заключение .....	105
Список использованной литературы .....	106

## Реферат

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, содержащей 108 страницы машинописного текста, 16 рисунков, 28 таблиц, 18 использованных источников, и 3 листа графического материала формата А1.

РИФОРМИНГ, РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА, ЛЕГКАЯ ФРАКЦИЯ, ГИДРОГЕНИЗАТ, МАССООБМЕННЫЙ ПРОЦЕСС, УСТОЙЧИВОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ.

В дипломной работе спроектирована ректификационная колонна, в проекте были произведены: технологический расчет процесса ректификации, расчет ректификационной колонны на прочность, на ветровую нагрузку, расчет опорной обечайки, укрепление отверстий, расчет фланцевых соединений.

В разделе «Социальная ответственность» описаны мероприятия по безопасному ведению технологического процесса.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» описаны ресурсоэффективность проекта, его анализ, план работы по проекту.

## **Abstract**

The diploma project consists of an explanatory note containing 108 pages of typewritten text, 16 figures, 28 tables, 18 sources used, and 3 sheets of A1 graphic material.

RIFORMING, RECTIFICATION COLUMN, EASY FRACTION, HYDROGENIZATE, MASS-EXCHANGE PROCESS, SUSTAINABILITY, STRENGTH.

In the thesis, a rectification column was designed.

In this graduation project, the following processes were performed: technological calculation of the rectification process, calculation of the distillation column for strength, wind load, calculation of the support shell, strengthening of the holes, calculation of flange connections.

In the section "Social responsibility" describes the measures for the safe management of the technological process.

In the section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving" describes the resource efficiency of the project, its analysis, the work plan for the project.

## ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом мировые запасы нефти становятся все меньше, необходимость увеличивать глубину переработки нефти чувствуется уже сейчас. За 2017 год объем добычи нефти в России составил около 550 миллионов тонн, а разведанные запасы нефти на сегодняшний день, по оценкам экспертов, составляют 14 млрд. тонн. Из этих данных видно, что разведанной нефти в РФ осталось не так уж и много, следовательно вопрос об увеличении глубины переработки нефти является актуальным.

Большинство нефтеперерабатывающих заводов России были построены с 1945 по 1965 г.г., было введено в эксплуатацию 16 заводов или более 50 % действующих на сегодняшний день в России.

В следствие реформ 1990-х годов в нефтеперерабатывающей промышленности, произошло крупное снижение объема производства. Из-за резкого снижения потребления нефтепродуктов внутри страны, при общих мощностях по первичной переработке 296 млн. т/год, в 2000 г. фактически было переработано 168,7 млн. тонн, следовательно, нагрузка на нефтеперерабатывающие заводы упала до 49,8 %.

Это стало причиной уменьшения глубины переработки нефти и ,как следствие, низкое качество выпускавшихся нефтепродуктов. Глубина переработки нефти в 1999 году составила, в среднем по России, 67,4 %.

В последние годы глубина переработки нефти увеличивается. Признаком улучшения данной ситуации является увеличение инвестиций в нефтепереработку. Так в 2006 году они выросли на 11,7 %, составив 40 млрд. рублей, вырос и внутренний спрос на нефтепродукты.

Глубина переработки нефти за период с 2005 по 2006 год выросла с 67,6 % до 71,3 %, а в 2017 г. – до 81 %.В последнее время на ряду с НПЗ активно ведется строительство комплексов глубокой переработки нефти.

В данной дипломной работе будет произведен расчет ректификационной колонны тарельчатого типа, экономическая эффективность заключается в увеличении глубины переработки нефти и нефтепродуктов.

Задачи в дипломной работе по проектированию ректификационной колонны установки отделения легкой фракции:

- По исходным данным сделать технологический расчет оборудования, цель которого состоит в составлении массового и теплового балансов, определении диаметра аппарата и скорости движения жидкости внутри колонны;

- После определения основных геометрических величин оборудования, выбрать его исполнение по материалам, исходя из того, что в оборудовании протекает тепло-, массообменный процесс разделения смеси углеводородов  $C_3 - C_{10}$ ;
- Для обеспечения надежности оборудования во время эксплуатации или во время гидроиспытаний, необходимо сделать механический расчет элементов, узлов оборудования и проверить прочность оборудования в целом;
- Рассчитать экономическую целесообразность проектируемого оборудования;
- Рассмотреть вопросы выполнения требования безопасности и гигиены труда к промышленной безопасности, по охране окружающей среды. Выяснить всевозможные опасности при эксплуатации проектируемого оборудования, описать опасные и вредные факторы. Предложить мероприятия по организации безопасности согласно стандартам.

Задачи по расчету оборудования решаются с помощью программы MathCad.

Конечной задачей является разработка чертежа ректификационной колонны.

# 1. Обзор литературы

Ректификация – процесс разделения смесей за счет массообмена и теплообмена между паром и жидкостью.

Ректификационная колонна – цилиндрический сосуд вертикального типа, постоянного или переменного сечения, состоящий из внутренних тепло- и массообменных устройств и вспомогательных узлов, предназначенных для разделения смесей на фракции, близких по температуре кипения. Различают тарельчатые и насадочные колонны, исходная смесь поступает из емкости в колонну, где низкокипящий компонент концентрируется в верхней части колонны, а высококипящий компонент уходит в низ колонны. Колонны также делятся на атмосферные и вакуумные.

В данном проекте необходимо произвести расчет ректификационной колонны с тарелками колпачкового типа для разделения углеводородной смеси (C<sub>3</sub> – C<sub>10</sub>) так, чтобы в укрепляющую часть колонны уходили углеводороды с C<sub>3</sub> по C<sub>6</sub>, а исчерпывающую, соответственно, с C<sub>7</sub> по C<sub>10</sub>.

Для того чтобы успешно осуществить процесс отделения легкой фракции (C<sub>3</sub> – C<sub>6</sub>) необходимо использовать такие аппараты как:

- Ректификационная колонна;
- Кипятильник;
- Воздушный холодильник;
- Теплообменные аппараты;
- Насосы;
- Емкости;

В настоящее время, в нефтехимической промышленности не обойтись без массообменных аппаратов, а именно без ректификационных колонн. Существует большое количество конструкций колонн, но самым основным является тарельчатая конструкция колонны. Выбор конструкции зависит от технологических схем, направления относительного движения газа и жидкости, и способа образования поверхности контакта фаз. Взаимодействие газа (пара) и жидкости на каждой ступени может происходить в противотоке, прямотоке или в перекрестном токе фаз. Конструкции контактных устройств со схемами взаимодействия показаны на рис. 1.1.

Подп. и дата						ФЮРА.УОЛФ.000.000 РПЗ			
	Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата				
Име. № подп.	Студент	Ильинский Н.Е.				Обзор литературы	Лит	Лист	Листов
	Руковод.	Семакина О.К.					Д	17	3
	Конс.						НИ ТПУ ИШНТП		
	Н. контр.						Группа 4К41		
	Руков. ООП	Краснокутская Е.А.							

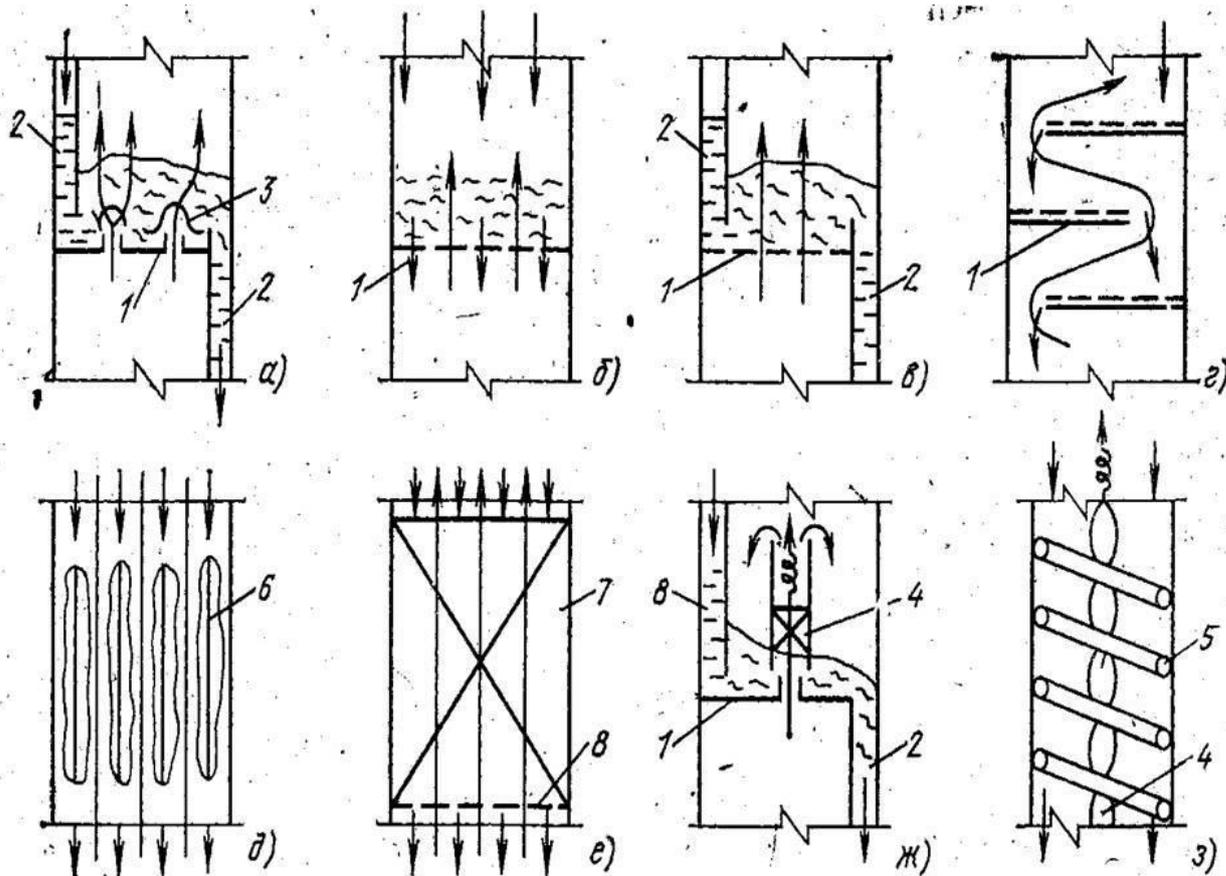


Рис. 1.1 Конструкции контактных устройств со схемами взаимодействия фаз

а – колпачковая; б – решетчатая (ситчатая) провальная; в – ситчатая; г – каскадная промывная; д – с плоскопараллельной насадкой; е – насадочная; ж – с прямоточно – контактным устройством; з – вихревая.

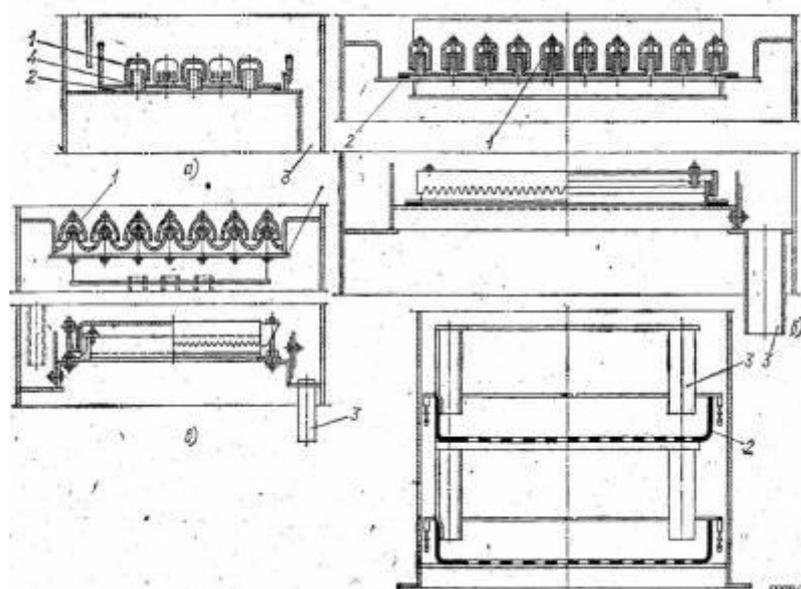
По внутреннему устройству ректификационные колонны бывают тарельчатыми, насадочными и роторными (с вращающимися деталями).

Тарельчатым колоннам, составляющим основную группу аппаратов с поверхностью контакта, образуемой в процессе движения потоков, свойственны общие закономерности в структуре потоков на тарелках. В свою очередь от гидродинамической структуры потоков, определяющих перемешивание на тарелках, зависит эффективность тарельчатых колонн.

Тарельчатые колонны выполняют в виде вертикальных цилиндров, внутри которых одна под другой горизонтальные перегородки-тарелки, число которых зависит от смеси разделяемой в колонне, обеспечивающие возможность встречного течения и контакта жидкости и газа (пара). Такого типа колонны имеют диаметр 0,5-8 м и высоту от 6 до 180 м, в зависимости от вида разделяемых продуктов, производительности и т.д.

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

В колоннах устанавливают следующие типы тарелок: провальные, колпачковые, сетчатые, клапанные, струйные и т.д. Некоторые конструкции тарелок представлены на рис. 1.2.



а – с капсульными круглыми колпачками; б – с туннельными колпачками; в – с желобчатыми колпачками; г – ситчатая тарелка; 1 – колпачок; 2 – основание тарелки; 3 – сливной патрубок; 4 – патрубок для входа пара.

В колпачковой тарелке пар (газ) проходит снизу через паровые трубки и выходит через прорези колпачков в жидкость барботируя через нее. При этом на тарелке конденсируется пар и одновременно испаряется жидкость. Отличительной особенностью колпачковых колонн является наличие перекрестного тока между жидкостью и газом. Необходимый уровень жидкости на тарелках обеспечивается сливными перегородками. Жидкость движется вдоль тарелки от питающего патрубка к сливной перегородке и пронизывается газом, движущимся с нижней тарелки на вышележащую. В качестве сливной перегородки в колонных используют сливные трубки или специальные порожки, высота выступа которых над тарелкой определяет высоту уровня жидкости на ней.

Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата

# 1. Описание технологической схемы

Процесс каталитического риформинга основывается на реакциях дегидроциклизации парафиновых углеводородов, дегидрирования и дегидроизомеризации нафтеновых, изомеризации парафинов на платиновом катализаторе под давлением водорода.

При подготовке сырья риформинга необходимо учитывать, что фракции бензина, выкипающие при 60 °С и состоящие в основном из пентанов, совершенно не приемлемы для риформинга. Фракция 60–85 °С нежелательна для получения компонентов бензина, так как дает катализат с низким октановым числом. Для получения наибольшего выхода высокооктанового бензина каталитическому риформингу следует подвергать сырье утяжеленного фракционного состава. В то же время присутствие в сырье риформинга углеводородов свыше C<sub>10</sub> нежелательно, т.к. приводит к быстрому закоксуыванию катализатора риформинга.

Перед подачей в реакторный блок секции риформинга стабильный гидрогенизат с С – 300 подвергается дополнительному фракционированию в колонне Т – 202 для удаления фракций выкипающих до 85°С.

Ректификационная колонна Т–202 – тарельчатая, с 30-ю тарелками колпачкового типа. Из емкостей Е304А/В/С стабильный гидрогенизат поступает на нагрев в теплообменники Е–205А/В до 125 °С кубовым остатком Т–202, который после охлаждения отводится в емкость Р-201А/В для дальнейшей переработки, поступает на 14-ю тарелку колоны Т–202. Пары легких фракций отводятся с верха колонны, конденсируется в воздушном холодильнике АС–202 и поступают в сборник рефлюкса V–205. Не сконденсировавшиеся углеводороды из V–205 отводятся на факел клапаном PV2316В, а жидкие углеводороды насосом Р–205А/В подаются на орошение Т–202. Расход флегмы поддерживается регулятором расхода с корректировкой по температуре. Балансовое количество головных фракций (в основном это углеводороды C<sub>5</sub>–C<sub>6</sub>) выводятся с нагнетания центробежным насосом Р–205А/В по уровню в емкости V–205 и направляются в резервуарный парк для использования в качестве компонента товарных бензинов. Кубовый остаток подается в теплообменник Е-206.

ФЮРА.УОЛФ.000.000 РПЗ

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата			
					Технологическая схема установки		
Студент		Ильинский Н.Е.			Лит	Лист	Листов
Руковод.		Семакина О.К.			Д	20	2
Конс.					НИ ТПУ ИШНТП Группа 4К41		
Н. контр.							
Руков. ООП		Краснокутская Е.А.					

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

где нагревается водяным паром до температуры кипения и подается в колонну, в виде пара, для технологического режима.

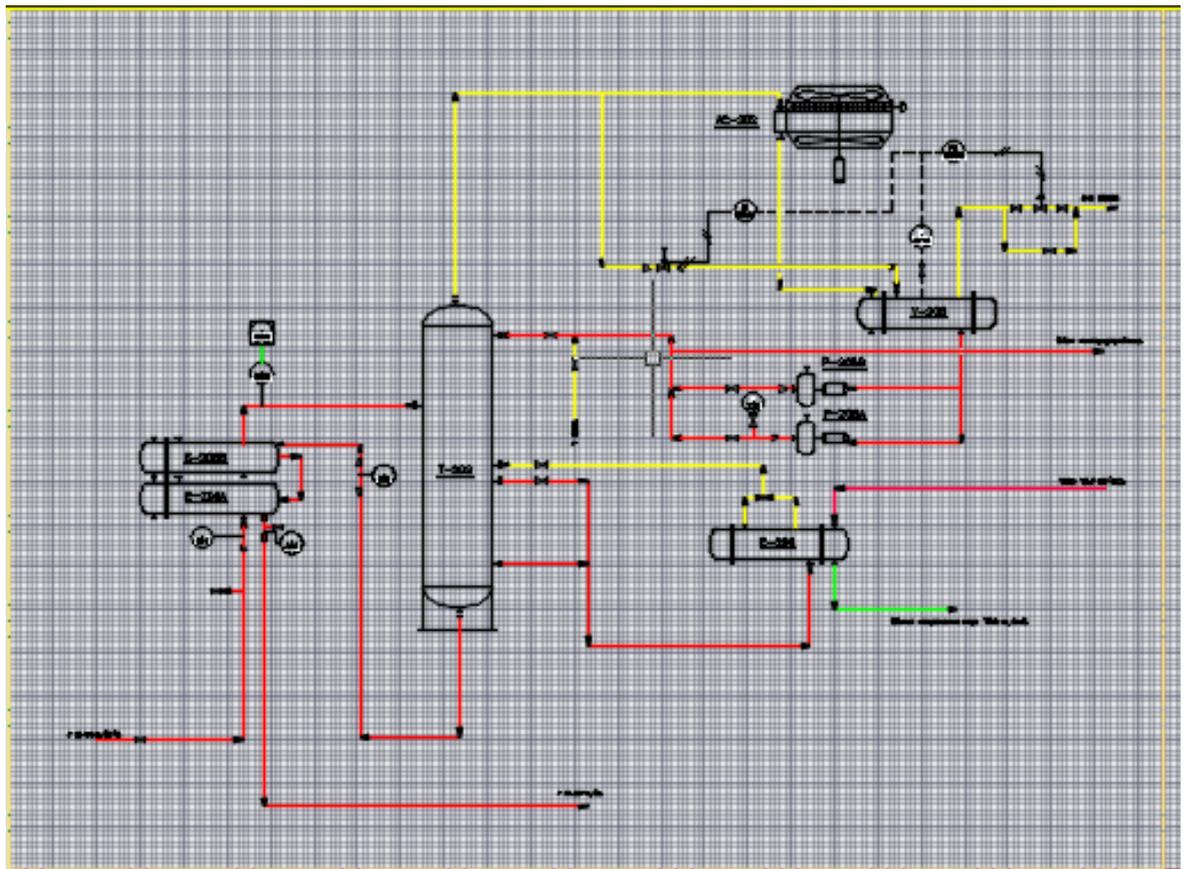


Рис. 2.1 Технологическая схема



Итого расход дистиллята:

$$G_D = G_{D,\text{пропан}} + G_{D,\text{бутан}} + G_{D,\text{пентан}} = 82,6 + 906,33 + 609,04 + 58,47 = 1656,44 \text{ кг/час}$$

Также для успешного выполнения расчета ректификационной колонны Т- 202 нам необходимо определиться с рядом показателей:

$x_F = 0,4608 \approx 0,461$  и  $\bar{x}_F = 0,345$  – мольная и массовая доли содержания низкокипящего компонента (в дальнейшем НК) в питании;

$x_D = 0,97$  и  $\bar{x}_D = 0,965$  – мольная и массовая доли содержания НК в дистилляте;

$x_W = 0,008$  и  $\bar{x}_W = 0,006$  – мольная и массовая доли содержания НК в кубовом остатке.

Производительность колонны по кубовому остатку  $G_W$  определим из уравнений материального баланса колонны:

$$G_F = G_D + G_W$$

Отсюда находим:

$$G_W = G_F - G_D = 2924,9 - 1656,44 = 1268,46 \text{ кг/ч.}$$

Табл. 3.1 – Состав и характеристики исходного сырья («питания») для производства сырья риформинга

Вещество	Масс. доля, % масс.	Об. доля, % об.	$T_{\text{кип}}$ (при $p=1$ атм)	Мольная доля	Молярная масса
Бутан	3,954	4,557	272,6	5,384	58
Пентан	35,124	36,933	309,07	38,63	72
Гексан	57,192	54,961	341,8	53,022	86
Гептан	3,726	3,546	371,4	2,96	100
Октан	21,58	20,594	398,7	17,273	114
Нонан	15,793	14,952	423,8	11,276	128
Декан	5,605	5,386	447,1	3,57	142

Из нормативно – технической документации на технологию производства сырья риформинга принимаем часовую производительность колонны Т-202 по питанию равной:

$$G_F = V_F \times \rho_F,$$

Где  $V_F = 8 \text{ м}^3/\text{ч}$  – согласно НТД на колонну Т-202;

$\rho_F$  - плотность питания колонны Т-202.

$$\rho_F = \sum_{i=1}^n \rho_i \times \omega_i == 7,32 + 65,07 + 110,12 + 132,55 + 133,15 + 100,29 + 36,49 = 589,98 \text{ кг/м}^3.$$

					Технологический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

где  $\rho_i$  – плотность  $i$ -ого компонента питания колонны при средней температуре работы колонны;

Средняя температура работы колонны (на основе данных нормативно – технической документации данного производства):

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\text{макс питания}} + T_{\text{мин питания}}}{2} = \frac{110 + 140}{2} = 125^{\circ}\text{C}$$

$\omega_i$  – массовая доля  $i$ -ого компонента питания колонны (из таблицы 1).

В результате получим,

$$G_F = 8 \times 584,98 = 4679,9 \text{ кг/час}$$

В табл. 3.2 представлен расход состава питания по основным компонентам.

Табл. 3.2 – Расход состава питания по основным компонентам

Вещество	Расход компонента питания, кг/час
Бутан	82,60
Пентан	609,04
Гексан	921,89
Гептан	1053,16
Октан	1009,92
Нонан	739,09
Декан	262,31

В табл. 3.3 представлен состав и характеристики кубового остатка (сырья для последующего риформинга).

Табл. 3.3 – Состав и характеристики кубового остатка (сырья для последующего риформинга)

Вещество	Масс. доля, % масс.	Об. доля, % об.	$T_{\text{кип}}$ (при $p=1$ атм)	Мольная доля	Молярная масса
Гексан	0,603	0,583	341,8	0,807	86
Гептан	32,439	33,066	371,4	36,996	100
Октан	30,833	30,757	398,7	30,879	114
Нонан	26,781	26,26	423,8	23,872	128
Декан	9,233	9,225	447,1	7,34	142

Необходимо задаться также и характеристикой дистиллята. Дистиллят в данном случае является побочным продуктом, однако его состав регламентирован. В табл. 2.4 представлен состав и характеристика дистиллята колонны Т – 202.

Табл. 3.4 – Состав и характеристика дистиллята колонны Т – 202

Вещество	Масс. доля, % масс.	Об. доля, % об.	$T_{\text{кип}}$ (при $p=1$ атм)	Мольная доля	Молярная масса
Бутан	4,557	4,557	272,6	5,384	58
Пентан	36,933	36,933	309,07	38,630	72
Гексан	54,961	54,961	341,8	53,022	86
Гептан	3,546	3,546	371,4	2,960	100

В табл. 3.5 отражен расход состава кубового остатка по основным компонентам.

Табл. 3.5 – Расход кубового остатка по основным компонентам

Вещество	Расход компонента питания, кг/час
Гексан	15,56
Гептан	994,68
Октан	1009,92
Нонан	739,09
Декан	262,31

Построим диаграмму равновесия между паром и жидкостью в координатах  $y-x$  (состав пара - состав жидкости). По диаграмме определим  $Y_i^*$  - концентрацию легколетучего компонента в паре, находящемся в равновесии с исходной смесью. Равновесные данные отсутствуют в каком-либо методическом указании и нуждаются в предварительном расчете.

Линией равновесия называется графическое изображение зависимости  $Y_i^* = f(x_i)$ . Для идеальных смесей расчеты и построение линий равновесия  $Y_{\text{НК}}^* = f(x_{\text{НК}})$  возможны аналитически. Для этого весь интервал температур от температуры кипения ВК до температуры кипения НК (при заданном давлении  $\Pi$ ) разбивают на ряд интервалов и для каждого значения температуры по справочнику находят соответствующие давления насыщенных паров чистых компонентов  $P_i^0$ .

Затем, используя закон Дальтона, а именно:

$$\Pi = \sum P_i = P_{\text{НК}}^0 \times x_{\text{НК}} + P_{\text{ВК}}^0 \times (1 - x_{\text{НК}}),$$

находят соответствующие значения равновесных концентраций жидкости  $X_{\text{НК}}$ :

$$X_{\text{НК}} = \frac{\Pi - P_{\text{ВК}}^0}{P_{\text{НК}}^0 - P_{\text{ВК}}^0};$$

После этого по уравнению:

$$Y_i^* = \frac{P_i^0}{\Pi} \times X_i$$

рассчитывают равновесный состав пара  $Y_{НК}^*$ . Обычно расчеты проводят в табличном варианте.

Для смеси ВК-НК рассчитаем и построим линию равновесия при общем давлении  $P = 3,5 \times 760 = 2660$  мм. рт. ст.

1. Обычно определяют температуру кипения ВК и НК продуктов при  $P=2660$  мм.рт.ст. Однако, в нашем случае смесь многокомпонентная, необходимо использовать иной способ. Из нормативно – технической документации процесса получения сырья риформинга выделяем следующие данные:

$T_{\text{верх колонны}} = 70^\circ\text{C}$  - температура вверху колонны Т-202;

$T_{\text{низ колонны}} = 165^\circ\text{C}$  - температура внизу колонны Т – 202;

Для подстраховки расширим интервал температуры в сторону увеличения еще на  $10^\circ\text{C}$  для получения полноты информации о процессе ректификации. Следовательно, линия равновесия будет выражать зависимость содержания ВК продукта в паре ( $Y_T^*$ ) от его содержания в жидкости ( $X_T$ ), т.е.  $Y_T^* = f(X_T)$ .

2. Разбиваем интервал температур от  $85^\circ\text{C}$  до  $175^\circ\text{C}$  на ряд мелких интервалов. Необходимо отметить, что чем меньше шаг, тем выше точность построения. Обычно рекомендуется не менее десяти внутренних интервалов. В нашем случае будет 19 аналитических точек.

3. По справочным данным для расчета давления насыщенных паров ВК продукта и НК продукта при соответствующих температурах. В таблице 6 приведены результаты расчета давления насыщенных паров ВК продукта и НК продукта в интервале температур  $85\text{--}175^\circ\text{C}$ . Для расчета давлений использовался график Кокса, отражающий зависимость давления насыщенных паров углеводородов от температуры.

Табл. 3.6 – Расчет давления насыщенных паров ВК продукта и НК продукта

№	t, °C	lgP <sub>ВК</sub>	P <sub>ВК</sub>	lgP <sub>НК</sub>	P <sub>НК</sub>
1.	85	2155	3,33	14900	4,17
2.	90	2495,6	3,40	16666	4,22
3.	95	2836,2	3,45	18432	4,27
4.	100	3176,8	3,50	20198	4,31
5.	105	3517,4	3,55	21964	4,34
6.	110	3858	3,59	23730	4,38
7.	115	4830,9	3,68	27618,2	4,44
8.	120	5803,8	3,76	31506,4	4,50
9.	125	6776,7	3,83	35394,6	4,55

10.	130	7749,6	3,89	39282,8	4,59
11.	135	8722,5	3,94	43171	4,64
12.	140	9695,4	3,99	47059,2	4,67
13.	145	10668,3	4,03	50947,4	4,71
14.	150	11641,2	4,07	54835,6	4,74
15.	155	12614,1	4,10	58723,8	4,77
16.	160	13587	4,13	62612	4,80
17.	165	17650	4,25	75733,3	4,88
18.	170	14610	4,16	66550	4,82

Затем в табл. 3.7 приведем расчет данных для построения линии равновесия, которая позволит определить ряд важных параметров колонны.

Табл. 3.7 – Расчет равновесных составов паровой и жидкой фаз смеси «ВК продукт – НК продукт»

№	t, °C	$P_{ВК}$	$P_{НК}$	П	$X_{НК} = \frac{П - P_{ВК}^0}{P_{НК}^0 - P_{ВК}^0}$	$Y_i^* = \frac{P_i^0}{П} \times X_i$
		мм.рт.ст.				
1.	85	310,62	2654,07	2660	1,0025	1,0003
2.	90	364,47	2819,10	2660	0,9352	0,9911
3.	95	418,32	3144,13	2660	0,8224	0,9721
4.	100	472,17	3469,15	2660	0,7300	0,9521
5.	105	526,02	3794,18	2660	0,6530	0,9314
6.	110	579,87	4119,21	2660	0,5877	0,9101
7.	115	741,60	4833,09	2660	0,4689	0,8519
8.	120	903,33	5546,97	2660	0,3783	0,7889
9.	125	1065,06	6260,85	2660	0,3070	0,7225
10.	130	1226,79	6974,73	2660	0,2493	0,6538
11.	135	1388,52	7688,60	2660	0,2018	0,5834
12.	140	1550,25	8402,48	2660	0,1620	0,5116
13.	145	1711,98	9116,36	2660	0,1280	0,4388
14.	150	1873,71	9830,24	2660	0,0988	0,3652
15.	155	2035,44	10544,12	2660	0,0734	0,2910
16.	160	2197,17	11258,00	2660	0,0511	0,2162
17.	165	2377,47	11973,29	2660	0,0294	0,1325
18.	170	2620,87	12834,67	2660	0,0038	0,0185

По результатам табличных расчетов (табл. 2.7) проводим уточненный расчет – добавляется значение при  $t = 170$  °C, при которой  $y^* = x = 1,00$ . Соответственно,  $t_{кон} = 170,5$  °C, при которой  $y^* = x = 0,00$  (без ухода в область отрицательных значений).

На рис. 2.1 представлена зависимость  $Y^*(x)$ .

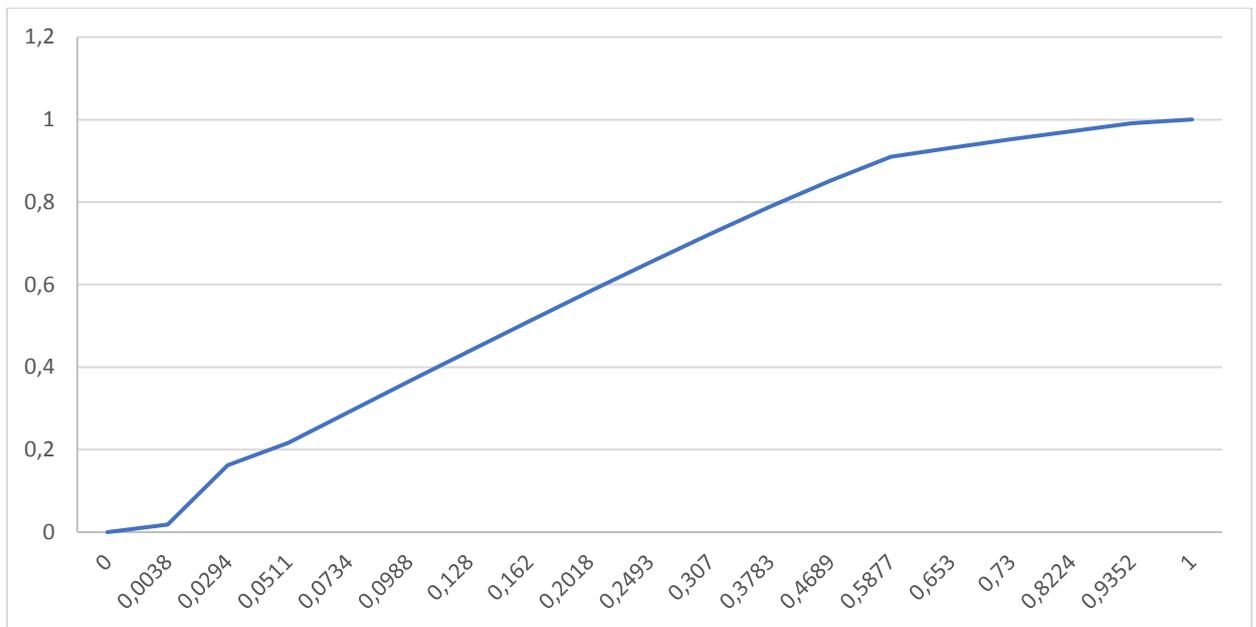


Рис. 3.1 - Зависимость  $Y^*(x)$

Из диаграммы равновесия (рисунок 1), построенной на основании табличных данных, получим  $Y_F^* = 0,846$  – мольная доля ВК продукта в паре равновесном с жидкостью питания.

Нагрузки ректификационной колонны по пару и жидкости определяются рабочим флегмовым числом  $R$ ; его оптимальное значение  $R_{\text{опт}}$  можно найти путем технико-экономического расчета. Ввиду отсутствия надежной методики оценки  $R_{\text{опт}}$  используют приближенные вычисления, основанные на определении коэффициента избытка флегмы (орошения):

$$\beta = R/R_{\min},$$

где  $R_{\min}$  – минимальное флегмовое число:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_F^*}{y_F^* - x_F} = \frac{0,97 - 0,846}{0,846 - 0,461} = \frac{0,124}{0,385} = 0,322$$

$$R = 1,3R_{\min} + 0,3 = 0,719.$$

При этом коэффициент избытка флегмы будет равен:

$$\beta = \frac{R}{R_{\min}} = \frac{0,719}{0,322} = 2,233.$$

Уравнение рабочей линии верхней части колонны (укрепляющая часть колонны):

$$Y = \frac{R}{R+1} \times X + \frac{x_D}{R+1},$$

где  $\frac{x_D}{R+1}$  – отрезок на оси  $Y$ .

$$Y = 0,244 \times X + 0,734.$$

Уравнение рабочей линии нижней части колонны (исчерпывающая часть колонны):

$$Y = \frac{R + F}{R + 1} \times X - \frac{F - 1}{R + 1} X_W,$$

где  $\frac{F-1}{R+1} X_W$  – отрезок на оси Y;

$$F = \frac{G_F}{G_D} = \frac{x_D - x_W}{x_F - x_W} = \frac{0,97 - 0,008}{0,461 - 0,008} = \frac{0,962}{0,453} = 2,124$$

– относительный мольный расход питания.

$$Y = \frac{0,322 + 2,124}{0,322 + 1} \times X - \frac{2,124 - 1}{0,322 + 1} \times 0,008 = 1,85X - 0,007$$

Определение объемов пара и жидкости, проходящих через колонну.

1. Средний мольный состав жидкости.

а) в верхней части колонны

$$x'_{\text{cp}} = \frac{x_P + x_D}{2} = \frac{0,461 + 0,97}{2} = 0,716 \text{ кмоль/кмоль смеси}$$

б) в нижней части колонны

$$x''_{\text{cp}} = \frac{x_F + x_W}{2} = \frac{0,461 + 0,008}{2} = 0,235 \text{ кмоль/кмоль смеси}$$

2. Средние мольные массы жидкости

Предварительно определи молярные массы НК и ВК продуктов, зная их состав, а также молярные массы каждого из компонентов в их составе:

$$M_{\text{НК}} = \sum_{i=1}^n x_{i,\text{НК}} \times M_{i,\text{НК}} = 79,5 \text{ кг/моль}$$

$$M_{\text{ВК}} = \sum_{i=1}^n x_{i,\text{ВК}} \times M_{i,\text{ВК}} = 113,87 \text{ кг/моль}$$

а) в верхней части колонны

$$M_{\text{верх ср}} = M_{\text{НК}} \times x'_{\text{cp}} + M_{\text{ВК}} \times (1 - x'_{\text{cp}}) = 79,5 \times 0,716 + 113,87 \times 0,284 = 56,92 + 32,34 = 89,62 \text{ кг/моль}$$

б) в нижней части колонны

$$M_{\text{ниж ср}} = M_{\text{НК}} \times x''_{\text{cp}} + M_{\text{ВК}} \times (1 - x''_{\text{cp}}) = 79,5 \times 0,235 + 113,87 \times 0,765 = 18,68 + 87,11 = 105,79 \text{ кг/моль}$$

Мольная масса исходной смеси

$$M_F = M_{\text{НК}} \times x_F + M_{\text{ВК}} \times (1 - x_F) = 79,5 \times 0,461 + 113,87 \times 0,539 = 36,65 + 61,38 = 98,03 \text{ кг/кмоль}$$

					Технологический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Мольная масса дистиллята

$$M_D = M_{\text{НК}} * x_D + M_{\text{ВК}} * (1 - x_D) = 79,5 * 0,97 + 113,87 * 0,03 = \\ = 77,12 + 3,42 = 80,54 \text{ кг/кмоль}$$

Мольная масса кубового остатка

$$M_W = M_{\text{НК}} * x_F + M_{\text{ВК}} * (1 - x_W) = 79,5 * 0,008 + 113,87 * 0,992 = \\ = 0,64 + 112,96 = 113,6 \text{ кг/кмоль}$$

3. Средние массовые расходы (нагрузки) по жидкости

А) в верхней части колонны

$$L_B = G_D * R * \frac{M_{\text{верх ср}}}{M_D} = 1656,44 * 0,322 * \frac{89,62}{80,54} = 593,5 \text{ кг/ч}$$

Б) в нижней части колонны

$$L_H = G_D * R * \frac{M_{\text{нижн ср}}}{M_D} + G_F * \frac{M_{\text{нижн ср}}}{M_F} = 1656,44 * 0,322 * \frac{105,79}{80,54} + 4678,87 * \frac{105,79}{98,03} \\ = 700,59 + 5049,25 = 5749,84 \text{ кг/ч}$$

4. Средний мольный состав пара

Средние концентрации пара находим по уравнениям рабочих линий:

А) в верхней части колонны

$$y_{\text{ср в}} = 0,244 * 0,716 + 0,734 = 0,909 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

Б) в нижней части колонны

$$y_{\text{ср н}} = 1,85 * 0,235 - 0,007 = 0,428 \frac{\text{кмоль}}{\text{кмоль смеси}}$$

5. Средние мольные массы пара

А) в верхней части колонны

$$M_{\text{верх ср}} = M_{\text{НК}} * y_{\text{ср в}} + M_{\text{ВК}} * (1 - y_{\text{ср в}}) = 79,5 * 0,909 + 113,87 * 0,091 = \\ = 72,27 + 10,36 = 82,63 \text{ кг/кмоль}$$

Б) в нижней части колонны

$$M_{\text{нижн ср}} = M_{\text{НК}} * y_{\text{ср н}} + M_{\text{ВК}} * (1 - y_{\text{ср н}}) = 79,50428 + 113,87 * 0,572 = \\ = 38,32 + 65,13 = 103,45 \text{ кг/кмоль}$$

6. Средние массовые потоки

					Технологический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата		30

А) в верхней части колонны

$$G_B = G_D * (R + 1) * \frac{M_{\text{верх ср}}}{M_D} = 1656,44 * 1,322 * \frac{82,63}{80,54} = 2246,64 \text{ кг/ч}$$

Б) в нижней части колонны

$$G_H = G_D * (R + 1) * \frac{M_{\text{нижн ср}}}{M_D} = 1656,44 * 1,322 * \frac{103,45}{80,54} = 2812,72 \text{ кг/ч}$$

### 3.1.2 Гидравлический расчет ректификационной колонны Т-202

Расчет скорости пара и диаметра колонны.

1) Температуры паров. Средние температуры паров определим по диаграмме t-x,y.

Данная диаграмма представляет собой совмещенный график зависимостей температуры кипения жидкости от ее состава и температуры насыщенных паров от их состава. Для ее построения используются данные расчета равновесных составов паровой и жидкой фаз (таблица 7). Вначале в координатах t-x наносят точки, соответствующие температурам кипения жидкости и равновесным ее концентрациям X. Через найденные точки проводят плавную линию, которая носит название линии кипения жидкости. Затем на эту же диаграмму наносят точки, соответствующие температурам кипения и равновесным составам пара Y\*. Диаграмма t-x-y является основной для технологического расчета процессов разделения жидких смесей ректификацией, поскольку с ее помощью по известным значениям составов паров и жидкостей в любой точке аппарата определяются значения локальных температур, а также решается обратная задача.

На основании данных нормативно-технической документации процесса получения сырья риформинга, а также данных таблицы 7, определим:

Температура кипения исходной смеси  $T_F = 114,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Температура кипения дистиллята  $T_P = 84,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Температура кипения кубового остатка  $T_D = 169,5 \text{ }^\circ\text{C}$

А) Средняя температура пара в верхней части колонны при  $y_{\text{ср в}} = 0,909$

$$T_{\text{ср в}} = 110,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Б) Средняя температура пара в нижней части колонны при  $y_{\text{ср н}} = 0,428$

$$T_{\text{ср н}} = 145,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

В целом по колонне  $T_{\text{ср}} = 128 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2) Плотности паров в колонне

					Технологический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

А) в верхней части колонны

$$\rho_{\text{в}} = \frac{M_{\text{верх ср}}}{22,4} * \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{ср в}}} = \frac{82,63}{22,4} * \frac{273}{273 + 110,5} = 2,629 \text{ кг/м}^3$$

Б) в нижней части колонны

$$\rho_{\text{н}} = \frac{M_{\text{нижн ср}}}{22,4} * \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{ср н}}} = \frac{103,45}{22,4} * \frac{273}{273 + 145,5} = 3,013 \text{ кг/м}^3$$

В) Средняя плотность пара в колонне:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\rho_{\text{н}} + \rho_{\text{в}}}{2} = \frac{2,629 + 3,013}{2} = 2,821 \text{ кг/м}^3$$

3) Плотности жидкостей в колонне

Определим плотность жидкости, находящейся в колонне: плотности жидких НК продукта и ВК продукта лишь относительно близки. Температура кипения дистиллята при  $x_D = 0,97$  равняется  $T_D = 169,5$  °С. Плотность жидкого НК продукта (вверху колонны)  $\rho_{\text{НК}} = 583,02$  кг/м<sup>3</sup>, плотность жидкого ВК продукта (внизу колонны)  $\rho_{\text{ВК}} = 754,79$  кг/м<sup>3</sup>.

Принимаем среднюю плотность жидкости в колонне:

$$\rho_{\text{ср}}^{\text{ж}} = \frac{583,02 + 754,79}{2} = 664,405 \text{ кг/м}^3$$

4) Предельная скорость паров в колонне

Фиктивную скорость пара (она же предельно-допустимая) можно рассчитать по различным методикам, изложенным в справочной литературе. При этом скорость рассчитывается отдельно для верхней и нижней частей колонны. Для колпачковых тарелок предельную скорость рассчитываем по формуле:

$$\omega_{\text{п}} = \frac{0,0155}{d_k^{\frac{2}{3}}} * \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{п}}} * h_k}$$

Здесь  $\omega_{\text{п}}$  – скорость пара в м/с;  $d_k$  – диаметр колпачка в м;  $h_k$  – расстояние от верхнего края колпачка до вышерасположенной тарелки, м.

Предварительно примем  $d_k = 100$  мм, расстояние между тарелками  $H = 750$  мм, высоту колпачка  $h_k = 750 - 55 = 695$  мм. Тогда:

$$\omega_{\text{пв}} = \frac{0,0155}{d_k^{\frac{2}{3}}} * \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{п}}} * h_k} = \frac{0,0155}{0,1^{\frac{2}{3}}} * \sqrt{\frac{583,02}{2,629} * 0,695} = 0,536 \text{ м/с}$$

$$\omega_{\text{пн}} = \frac{0,0155}{d_k^{\frac{2}{3}}} * \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{п}}} * h_k} = \frac{0,0155}{0,1^{\frac{2}{3}}} * \sqrt{\frac{754,79}{3,013} * 0,695} = 0,569 \text{ м/с}$$

Примем рабочую скорость пара на 30% меньше предельной:

$$\omega_{pB} = 0,7 * \omega_{пB} = 0,7 * 0,536 = 0,375 \text{ м/с}$$

$$\omega_{pH} = 0,7 * \omega_{пH} = 0,7 * 0,569 = 0,398 \text{ м/с}$$

Средняя скорость паров в колонне:

$$\omega_{cp} = \frac{0,375 + 0,398}{2} = 0,386 \text{ м/с}$$

5) Диаметр колонны

Чтобы рассчитать диаметр колонны нужно знать объемный расход паров.

Объемный расход паров:

$$V = \frac{G}{\rho_{п}}$$

Объемный расход паров в верхней части колонны:

$$V_B = \frac{G_B}{\rho_B} = \frac{2246,64}{3600 * 2,629} = 0,237 \text{ м}^3/\text{с}$$

Объемный расход паров в нижней части колонны:

$$V_H = \frac{G_H}{\rho_H} = \frac{2812,72}{3600 * 3,013} = 0,259 \text{ м}^3/\text{с}$$

Диаметр колонны рассчитываем по уравнению:

$$D_B = \left( \frac{4 * V_B}{\pi * \omega_B} \right)^{0,5} = \left( \frac{4 * 0,237}{3,14 * 0,375} \right)^{0,5} = 0,897 \text{ м}$$

$$D_H = \left( \frac{4 * V_H}{\pi * \omega_H} \right)^{0,5} = \left( \frac{4 * 0,259}{3,14 * 0,398} \right)^{0,5} = 0,910 \text{ м}$$

Рационально принять стандартный диаметр обечайки  $d = 1,00 \text{ м}$ .

6) Определение числа тарелок и высоты колонны

Построим линии и ступени измерения концентраций для верхней (укрепляющей) и нижней (исчерпывающей) частей колонны и находим число ступеней изменения концентраций  $n_T$  (рис. 3.2).



Расчет динамического коэффициента вязкости исходной смеси ведем согласно формуле:

$$\lg \mu_{\text{см}} = \sum_{i=1}^n x_i * \lg \mu_i$$

$$\lg \mu_{\text{см}} = -0,811 \Rightarrow \mu_{\text{см}} = 0,155 * 10^{-3} \text{ Па} * \text{с}$$

$$\text{Тогда: } \alpha = \frac{35394,6}{6776,7} = 5,22.$$

$$\alpha * \mu = 5,22 * 0,155 = 0,809$$

КПД тарелок определяем по упрощенной методике, используя график 3.5 [2, с.323], откуда  $\eta = 0,5$ .

Число тарелок:

$$\text{В верхней части колонны: } n_{\text{верх}} = \frac{6}{0,5} = 12 \text{ тарелок.}$$

$$\text{В нижней части колонны: } n_{\text{нижн}} = \frac{8}{0,5} = 16 \text{ тарелок.}$$

Общее число тарелок  $n = 28$ , с запасом  $n = 30$  тарелок, из них в верхней части 13 тарелок и в нижней части 17 тарелок.

Определение высоты колонны производится по следующему уравнению:

$$H_{\text{к}} = H_{\text{Г}} + z_{\text{в}} + z_{\text{н}}$$

Здесь  $H_{\text{Г}} = (N_{\text{г}} - 1) * H$  – высота тарельчатой (рабочей) части колонны, м;

$Z_{\text{в}}$  – высота сепарационной части над верхней тарелкой, м;

$Z_{\text{н}}$  – расстояние от нижней тарелки до днища колонны, м.

$$N_{\text{г}} = 30 \Rightarrow H_{\text{Г}} = (30 - 1) * 0,75 = 21,75 \text{ м}$$

При диаметре колонны  $d = 1,00 \text{ м} \Rightarrow z_{\text{в}} = 1,00 \text{ м}; z_{\text{н}} = 2,00 \text{ м.}$

Тогда общая высота колонны составит:

$$H_{\text{к}} = H_{\text{Г}} + z_{\text{в}} + z_{\text{н}} = 20,75 + 1,00 + 2,00 = 24,75 \text{ м}$$

### 3.1.3 Расчет теплового баланса ректификационной колонны Т-202

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

$$Q_{\text{D}} = G_{\text{D}} * (1 + R) * r_{\text{D}} = \frac{1656,44}{3600} * (1 + 0,719) * 321,84 = 254,56 \text{ кВт}$$

Здесь

$$r_{\text{D}} = \bar{x}_{\text{D}} * r_{\text{НК}} + (1 - \bar{x}_{\text{D}}) * r_{\text{ВК}} = 0,97 * 321,64 + 0,03 * 328,14 = 321,84 \text{ кДж/кг}$$

					Технологический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

где  $r_{ВК}$  и  $r_{НК}$  – удельные теплоты конденсации ВК и НК при 84,5 °С.

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

$$Q_H = Q_D + G_D * c_D * t_D + G_W * c_W * t_W + G_F * c_F * t_F + Q_{пот}$$

Тепловые потери условно принимаем в размере 5% от полезно затрачиваемой теплоты.

В табл. 3.9 представим теплоемкости компонентов в потоке дистиллята при температуре  $t_D = 84,5$  °С.

Табл. 3.9 – Теплоемкости компонентов в потоке дистиллята при температуре  $t_D = 84,5$  °С

Вещество	Теплоемкость, кДж/(кг*К)
Пропан	2,983
Бутан	2,796
Пентан	2,694
Гексан	2,451
Гептан	2,401
Октан	2,109
Нонан	1,907
Декан	1,759

В табл. 3.10 выполним покомпонентный расчет теплоты в потоке дистиллята при температуре  $t_D = 84,5$  °С.

Табл. 3.10 – Покомпонентный расчет теплоты в потоке дистиллята при температуре  $t_D = 84,5$  °С.

Вещество	Расход теплоты, кВт
Пропан	0,00
Бутан	5,20
Пентан	36,92
Гексан	49,98
Гептан	3,16
Октан	0,00
Нонан	0,00
Декан	0,00
ИТОГО	95,26

В табл. 3.11 представим теплоемкости компонентов в потоке питания при температуре  $t_F = 114,5$  °С.

Табл. 3.11 – Теплоемкости компонентов в потоке питания при температуре  $t_F = 114,5\text{ }^\circ\text{C}$ .

Вещество	Теплоемкость, кДж/(кг*К)
Пропан	3,052
Бутан	2,865
Пентан	2,756
Гексан	2,564
Гептан	2,501
Октан	2,076
Нонан	1,945
Декан	1,814

В табл. 3.12 выполним покомпонентный расчет теплоты в потоке питания при температуре  $t_F = 114,5\text{ }^\circ\text{C}$ .

Табл. 3.12 - Покомпонентный расчет теплоты в потоке питания при температуре  $t_F = 114,5\text{ }^\circ\text{C}$ .

Вещество	Расход теплоты, кВт
Пропан	0,00
Бутан	10,32
Пентан	73,20
Гексан	103,08
Гептан	114,87
Октан	91,43
Нонан	62,69
Декан	20,75
ИТОГО	476,34

В табл. 3.13 представим теплоемкости компонентов в потоке кубового остатка при температуре  $t_W = 169,5\text{ }^\circ\text{C}$ .

Табл. 3.13 - Теплоемкости компонентов в потоке кубового остатка при температуре  $t_W = 169,5\text{ }^\circ\text{C}$ .

Вещество	Теплоемкости, кДж/(кг*К)
Пропан	3,196
Бутан	3,083
Пентан	2,884
Гексан	2,823
Гептан	2,785
Октан	2,084
Нонан	2,011
Декан	1,906

В табл. 3.14 выполним покомпонентный расчет теплоты в потоке кубового остатка при температуре  $t_W = 169,5$  °С.

Табл. 3.14 - Покомпонентный расчет теплоты в потоке кубового остатка при температуре  $t_W = 169,5$  °С.

Вещество	Расход теплоты, кВт
Пропан	0,00
Бутан	0,00
Пентан	0,00
Гексан	2,16
Гептан	136,20
Октан	103,48
Нонан	73,08
Декан	24,58
ИТОГО	339,5

Расход теплоты, отдаваемой греющим паром на обогрев колонны:

$$Q_H = 1,05 * (Q_D + G_D * c_D * t_D + G_W * c_W * t_W - G_F * c_F * t_F) =$$

$$= 1,05 * (254,56 + 95,26 + 339,5 - 476,34) = 223,6 \text{ кВт.}$$

## 3.2 Механический расчет

### 3.2.1 Выбор конструкционного материала

Для нормального функционирования аппарата необходимо правильно выбрать конструкционный материал.

Подбор производится исходя из условий, в которых будет эксплуатироваться аппарат. Материалы, выбранные для деталей и сборочных единиц, должны обеспечивать надежность колонны в работе и экономичность в изготовлении. При выборе материала необходимо учитывать рабочую (расчетную) температуру в колонне, давление и коррозионную активность среды.

Химической средой в колонне является смесь углеводородов, наибольшая температура среды – 158 °С, избыточное давление 0,45 МПа.

Исходя из условий технологического процесса выбираем легированную нержавеющую сталь 12Х18Н10Т. Химический состав данной стали: 0,12 % углерода, 18 % хрома, 10 % никеля, 1 % титана, оставшаяся часть железа.

Согласно табл. 2.8 [8, стр.68] сталь обладает удовлетворительными прочностными свойствами, в термообработанном состоянии отличается высокой пластичностью и жаропрочностью при температурах до 650 °С.

Сталь технологична в обработке, хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях. Штампуемость стали хорошая. Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки и не требует обязательной термической обработки изделия после сварки. Сталь характеризуется высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах.

Условия применения данной стали:  $t_{\text{применения}} = -253 \div 600 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $P$  не более 10 МПа.

### 3.2.2 Механический расчет колонны

Целью механического расчета химического и нефтехимического оборудования является определение размеров отдельных элементов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию машин и аппаратов за счет достаточной механической прочности, плотности разъемных соединений, устойчивости к сохранению формы и необходимой долговечности. На рис. 3.3 изображена расчетная модель ректификационной колонны.

Подп. и дата						ФЮРА.УОЛФ.000.000 РПЗ			
	Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата				
Инв. № подл	Студент	Ильинский Н.Е.				Механический расчет	Лит	Лист	Листов
	Руковод.	Семакина О.К.					Д	39	35
	Конс.					НИ ТПУ ИШНТП			
	Н. контр.					Группа 4К41			
	Руков. ООП	Краснокутская Е.А.							

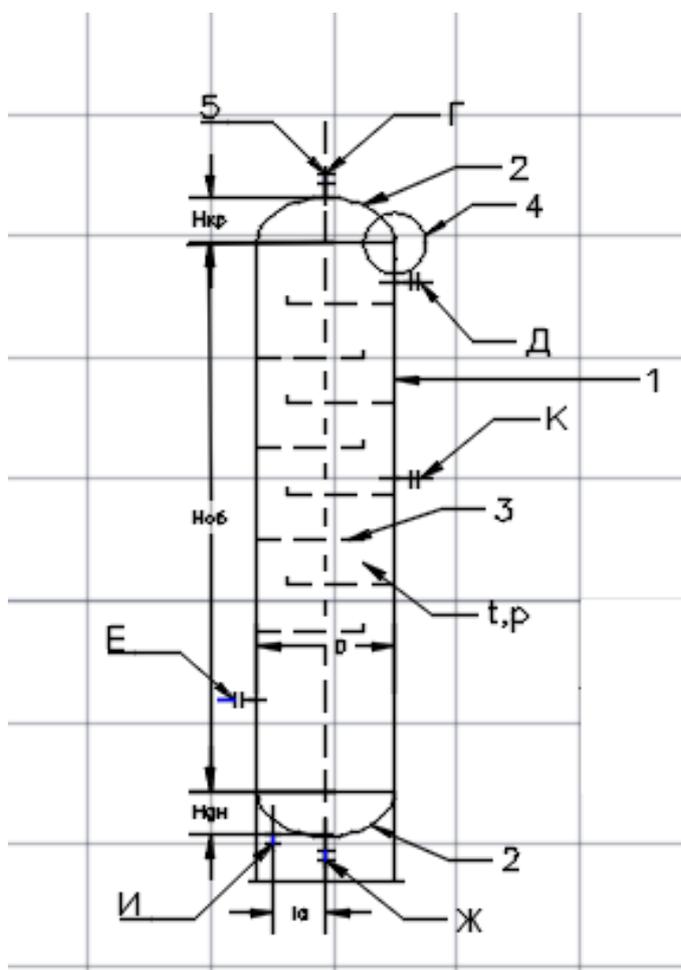


Рис. 3.3 Расчетная схема ректификационной колонны.

- 1 – Цилиндрическая обечайка
- 2 – Эллиптическая крышка и днище
- 3 – Тарелка колпачковая
- 4 – Фланцевое соединение
- 5 - Штуцер

В дипломном проекте необходимо рассчитать ректификационную колонну колпачкового типа Т-202, для отделения легкой фракции стабильного гидрогенизата, производительностью 11111 т/г. Содержание НКК:  $x_F = 0,4608 \approx 0,461$  и  $\bar{x}_F = 0,345$  – мольная и массовая доли содержания низкокипящего компонента (в дальнейшем НК) в питании;  $x_D = 0,97$  и  $\bar{x}_D = 0,965$  – мольная и массовая доли содержания НК в дистилляте;  $x_W = 0,008$  и  $\bar{x}_W = 0,006$  – мольная и массовая доли содержания НК в кубовом остатке. Рабочее давление в колонне: 0,45 МПа.

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

Исходные данные:

Рабочее давление, МПа:  $P = 0,45$

Высота колонны, м:  $H = 24,75$

Высота цилиндрической части колонны, м:  $H_{ц} = 23,65$

Модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа:

$$E_a = 1,755 * 10^5$$

Приведенная расчетная длины, мм:  $l_{пр} = H_{ц} * 1000 = 23650$

Коэффициент запаса устойчивости:  $n_y = 2,4$

Плотность среды, кг/м<sup>3</sup>:  $\rho = 745$

Плотность металла, кг/м<sup>3</sup>:  $\rho_m = 7850$

Ускорение свободного падения, м<sup>2</sup>/с:  $g = 9,807$

Внутренний диаметр аппарата, мм:  $D = 1000$

Плотность минеральной ваты кг/м<sup>3</sup>:  $\rho_{МВ} = 250$

Толщина слоя минеральной ваты, м:  $s_{из} = 0,15$

Плотность алюминиевой фольги, кг/м<sup>3</sup>:  $\rho_{ал} = 2500$

Толщина алюминиевой фольги, м:  $\rho_{ал} = 0,8 * 10^{-3}$

Плотность воды, кг/м<sup>3</sup>:  $\rho_{ж} = 998$

Внутренний диаметр колонны, м:  $D_B = 1,00$

Высота опорной обечайки, м:  $H_{оп} = 1,3$

Высота колонны с опорной обечайкой, м:  $H_K = H_{оп} + H = 26,05$

Высота первого участка центра масс, м:

$$x_{0ц} = 2 + 11,825 + \frac{11,825}{2} = 19,74$$

Высота второго участка центра масс, м:  $x_{1ц} = 2 + \frac{11,825}{2} = 7,9125$

Высота третьего участка центра масс, м:  $x_{2ц} = 1$

Модуль продольной упругости, Па:  $E_{vt} = 1,75 * 10^{11}$

Коэффициент неравномерного сжатия грунта, Н/м<sup>3</sup>:  $C_{vtF} = 6 * 10^7$

1) Гидростатическое давление в аппарате, МПа:

$$P_{гид} = g * \rho_{ж} * H_{ц} * 10^{-6} = 0,231$$

Расчетное давление, МПа [5, стр. 12]:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

$$P_p = P + P_{\text{гид}} = 0,681$$

2) Расчет обечайки на прочность

Наибольшая температура среды, °C: 158 °C

Минимальное значение предела текучести при температуре 20 °C принимаем по таблице 2, МПа [4, стр.17]:  $\sigma_{T20} = 240$

Нормативное допускаемое напряжение при расчетной температуре принимаем по таблице 1.3, МПа [4, стр.11]  $\sigma_1 = 166,72$

Так как обечайка колонны выполняется из листового проката, то принимаем поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки  $\eta = 1$  [4, стр.6].

Допускаемое напряжение для материала при температуре 20 °C принимаем по таблице 1.3 [4, стр.11]  $\sigma_{d20} = 184$

**Расчет допускаемого напряжения [4, стр.7]:**

Для рабочего состояния:

$$\sigma_d = \sigma_1 * \eta = 166,72 * 1 = 166,72 \text{ МПа}$$

При гидравлических испытаниях:

$$\sigma_{д.и.} = \frac{\sigma_{T20}}{1,1} = 218,182 \text{ МПа}$$

**Расчет пробного давления [5, стр.4]:**

$$P_{и} = 1,25 * P_p * \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_d} = 0,944 \text{ МПа}$$

За расчетную температуру стенки берем максимальную температуру среды [5, стр.4], то есть 170 °C.

Коэффициент прочности сварных и паянных соединений принимаем равным  $\phi = 1$  по таблице Д.1, [5, стр.22].

**Прибавка к расчетным толщинам стенки:**

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии [4, стр.8]:

Для стали 12Х18Н10Т соответствует проникаемость среды равная

$P = 0,1$  мм/год [8, стр.273], срок службы аппарата принимаем равным  $\tau_b = 20$  лет. Следовательно, прибавка на коррозию и эрозию равна:

$$c_1 = P * \tau_b = 2 \text{ мм}$$

Прибавка на минусовое значение по толщине листа принимаем равной 5% и далее не учитываем:

$$c_2 = 0 \text{ мм}$$

Технологическую прибавку на компенсацию утонения стенки аппарата принимаем равной:

					Механический расчет	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$c_3 = 1 \text{ мм}$$

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 3 \text{ мм}$$

### 3.3.1 Расчет обечайки

Цилиндрическая обечайка на рис. 3.4 отмечена под позицией 1.

Расчетная толщина стенки аппарата определяется по ГОСТу [5, стр.6], при внутреннем избыточном давлении:

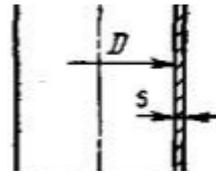


Рис. 3.4 Расчетная схема обечайки аппарата

Максимальная исполнительная толщина стенки из условия прочности:

$$S_p := \max \left[ \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{ä}} - P_{\text{ä}}}, (P_{\text{i.p}}) \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{ä}} - (P_{\text{i.p}})}, \frac{P_{\text{e}} \cdot D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{e}} - P_{\text{e}}} \right]$$

$$S_p = 1.425$$

$$S_1 := \text{Ceil}[S_p + (\tilde{n}), 1] \quad S_1 = 3$$

Принимаем исполнительную толщину обечайки равной 12 мм, по техническим требованиям [5, стр.18].

$$S_{\text{ст}} = 12 \text{ мм}$$

Допускаемое давление [5, стр.6]:

При рабочих условиях:

$$P_{\text{д}} = \frac{2 * \phi * \sigma_{\text{д}} * (S_{\text{ст}} - c)}{D + S_{\text{ст}} - c} = 2,974 \text{ МПа}$$

При гидравлических испытаниях:

$$P_{\text{д}} = \frac{2 * \phi * \sigma_{\text{д.и.}} * (S_{\text{ст}} - c)}{D + S_{\text{ст}} - c} = 3,892 \text{ МПа}$$

Условия применения расчетных формул [5, стр.5]:

Расчетные формулы применимы при отношении стенки к диаметру:

$$\frac{S_{\text{ст}} - c}{D} \leq 0,1 - \text{для обечаек и труб при } D \geq 200 \text{ мм.}$$

$$\frac{S_{\text{ст}} - c}{D} = 0,009 \text{ мм}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Следовательно, условие применения рабочих формул выполняется.

При осевом растягивающем усилии расчетная толщина стенки аппарата определяется по формулам [5, стр.7]:

$$S_{\text{раст.р.}} = \frac{P * D}{2 * \sigma_{\text{д}} * \phi - P} = 1,351 \text{ мм}$$

Толщина стенки с учетом прибавок:

$$S_{\text{раст.}} = S_{\text{раст.р.}} + c = 4,351 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину обечайки равной 12 мм, по техническим требованиям [5, стр.18].

Следовательно, принимаем:

$$S_{\text{раст.}} = 12 \text{ мм}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi * (D + S_{\text{раст.}} - c) * (S_{\text{раст.}} - c) * \sigma_{\text{д}} * \phi_{\text{T}} = 4,753 * 10^6 \text{ Н}$$

Условия применения расчетных формул [5, стр.10]:

Расчетные формулы применимы при отношении стенки к диаметру:

$$\frac{S_{\text{раст.}} - c}{D} \leq 0,1 - \text{ для обечайек и труб при } D \geq 200 \text{ мм.}$$

$$\frac{S_{\text{раст.}} - c}{D} = 0,009 \text{ мм}$$

Следовательно, условие применения рабочих формул выполняется.

Допускающий изгибающий момент из условия прочности:

$$S = \max(S_{\text{ст}}, S_{\text{раст.}}) = 12 \text{ мм}$$

Проверка на прочность:

Расчетные формулы применимы при отношении допускаемого давления к допускаемому давлению при гидравлических испытаниях:

$$\frac{P_{\text{д}}}{P_{\text{д.и.}}} \leq 1$$

$$\frac{P_{\text{д}}}{P_{\text{д.и.}}} = 0,764$$

Проверка на прочность выполняется, следовательно, выбираем толщину обечайки равной 12 мм.

### 3.3.2 Расчет днища и крышки

Эллиптическое днище изображено на рис. 3.3 под номером 2.

Расчет эллиптических днища и крышки (рис.2.4) при внутреннем избыточном давлении проводится по [5, стр.13].

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

При гидравлических испытаниях крышка и днище будут нагружены внутренним избыточным давлением, следовательно, проведем расчет толщины при внутреннем избыточном давлении.

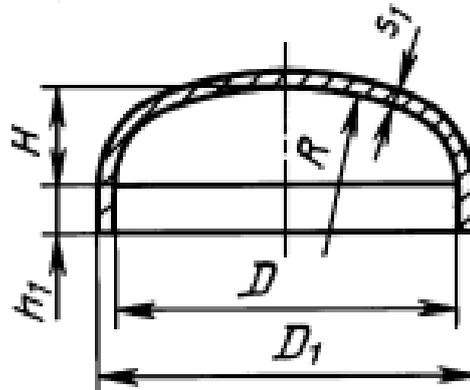


Рис. 3.5 Крышка эллиптическая

Исполнительную толщину стенки днища и крышки определяют по формулам [5, стр.14]:

$$S_{к1} = \max \left( \frac{P_p * D}{2 * \phi * \sigma_d - 0,5 * P_p}, \frac{P_n * D}{2 * \phi * \sigma_d - 0,5 * P_n} \right) = 2,046 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки крышки и днища:

$$S_1 = S_{к1} + c = 5,046 \text{ мм}$$

Принимаем толщину крышки и днища стандартного значения  $S_1 = 12 \text{ мм}$ , по таблице 16.1 [8, стр.441].

Допускаемое давление:

При рабочих условиях:

$$P_{д1} = \frac{2 * \phi * \sigma_d * (S_{ст} - c)}{D + 0,5(S_{ст} - c)} = 2,988 \text{ МПа}$$

При гидравлических испытаниях:

$$P_{д1и} = \frac{2 * \phi * \sigma_{д.и.} * (S_{ст} - c)}{D + 0,5(S_{ст} - c)} = 3,91 \text{ МПа}$$

Условия применения расчетных формул [5, стр.14]:

Расчетные формулы применимы при отношении стенки к диаметру:

$$0,002 \leq \frac{S_1 - c}{D} \leq 0,1 \text{ – для эллиптических днищ и крышек.}$$

$$\frac{S_{раст.} - c}{D} = 0,009 \text{ мм}$$

Следовательно, условие применения рабочих формул выполняется.

Длину цилиндрической отбортованной части днища и крышки принимаем равной  $h_1 = 100 \text{ мм}$  по таблице 16.1 [8, стр. 440].

Радиус кривизны в вершине днища [5, стр.14]:

Высоту выпуклой части днища и крышки без учета цилиндрической части принимаем равной  $H_1 = 250$  мм, по таблице 16.1 [8, стр.440]:

$$R = \frac{D^2}{4 * H_1} = 1000 \text{ мм}$$

### 3.3.3 Расчет тарелок

Тарелки изображены на рис. 3.3 под номером 3.

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

$$S' = 0,56 * D * \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} = 3,7 \text{ мм}$$

Для расчета величины прогиба тарелки необходимо знать ее цилиндрическую жесткость, она рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{E * S^3}{12 * (1 - \mu^2)} = 814 \text{ Н * м}$$

Прогиб в центре тарелки рассчитывается по формуле:

$$\omega = 4,08 * \frac{p * R^4}{64 * N} = 1,8 * 10^{-5} \text{ м}$$

Величина прогиба диска тарелки не превышает  $1/2000 D = 0,0005$  м, следовательно, условие выполняется.

### 3.3.4 Расчет фланцевого соединения [7]

Фланцевое соединение изображено на рис. 3.3 под номером 4.

Фланцевое соединение выполняет ответственную роль, так как во многих случаях разрушение фланцевого соединения приводит не только к материальным затратам, но и к опасности для жизни обслуживающего персонала. Следовательно, прочность и надежность фланцевого соединения должна гарантироваться.

Фланцевое соединение состоит из трех элементов: фланца, болтов (шпилек), прокладки. При расчете фланцевых соединений необходимо учитывать следующие виды нагрузок: усилие затяжки болтов (шпилек), внутреннее давление, внешнюю осевую силу,

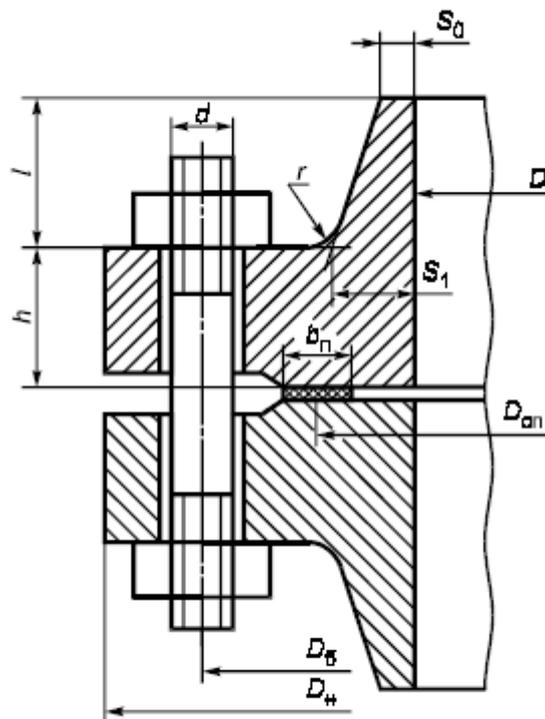
					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

внешний изгибающий момент, усилия вызванные стесненностью температурных деформаций.

Для расчета возьмем фланцевое соединение обечайки и крышки.

Исходя из среды, давления и температуры внутри аппарата, т.е. из условий эксплуатации, выбираем тип фланца.

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47



a — фланцевое соединение с гладкой уплотнительной поверхностью

Рис. 3.6 Расчетная схема фланцевого соединения

Для внутреннего диаметра аппарата 1000 мм и максимального давления 0,944 МПа выбираем фланец, который будет удовлетворять нашим условиям.

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

$$D_H := 1130 \quad \text{мм}$$

$$D_6 := 1090 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{СП}} := 1052 \quad \text{мм}$$

$$D := 1000 \quad \text{мм}$$

$$a := 15.5$$

$$h := 100 \quad \text{мм}$$

$$d := 23 \quad \text{мм}$$

$$S_0 := 30 \quad \text{мм}$$

$$d := 23$$

$$D_6 := 20 \quad \text{мм}$$

$$n := 36$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Из ГОСТ 28759.6-90 выбираем прокладки для нашего аппарата. Материалом прокладки будет служить паронит ПОН.

$$b_{\text{П}} := 1010$$

$$h_{\text{П}} := 7$$

Крепежными элементами выберем болты из стали 15ХМ.

Расчетные температуры:

1. Расчетная температура неизолированных плоских фланцев:

$$t_{\text{ф}} := 0.96(t_{\text{р}}) \quad t_{\text{ф}} = 163.2 \quad ^\circ\text{C}$$

2. Расчетная температура болтов:

$$t_{\text{б}} := 0.85(t_{\text{р}}) \quad t_{\text{б}} = 144.5 \quad ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 15ХМ:

В рабочем состоянии:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 152.5 \\ 152 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_{\text{б}}), 0.5)$$

$$\sigma_{\text{д.б}} = 152 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре

$$E_{\text{б}} := 1.84 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для болтов при  $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

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

Модуль упругости для болтов при  $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

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

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

$$\sigma_{20\text{б}} := 152 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 15ХМ при  $t = 20\text{-}200 \text{ } ^\circ\text{C}$ :

$$\alpha_{\text{б}} := 12.6 \cdot 10^{-6} \quad \frac{1}{\text{K}}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		49

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 12Х18Н10Т:

$$t := \begin{pmatrix} 150 \\ 200 \end{pmatrix} \quad ^\circ\text{C} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 168 \\ 160 \end{pmatrix} \quad \text{МПа}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{ф}}), 0.5) \quad \sigma = 165.5 \quad \text{МПа}$$

Так как фланцы изготавливаются из листового проката:

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д.ф}} := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{\text{д.ф}} = 165.5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для стали 12Х18Н10Т при расчетной температуре:

$$E := 1.98210^5 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т при  $t = 20$  оС:

$$\sigma_{20} := 184 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\text{д}20} = 184 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для стали 12Х18Н10Т при температуре испытания 20 0С:

$$E_{20} := 2.0010^5 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 12Х18Н10Т при  $t = 20-200$  оС:

$$\alpha_{\text{ф}} := 17 \cdot 10^{-6} \quad \frac{1}{\text{K}}$$

Эффективная ширина плоской прокладки:

$$b_{\text{п}} = 1.01 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

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

$$b_0 = 121$$

Характеристики прокладки по табл. 4.6:

$$m_1 := 2.5$$

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

$$q_{\text{д}} := 130 \quad \text{МПа}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$K_{\text{обж}} := 0.9 \text{ МПа}$$

$$E_{\text{II}} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m_1 \cdot |P| \quad P_{\text{обж}} = 3.999 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$R_{\text{II}} := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m_1 \cdot P & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{\text{II}} = 7.998 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Площадь поперечного сечения болтов (шпилек) по табл. 4.3[19]:

$$f_{\text{б}} := 62 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}} \quad A_{\text{б}} = 2.246 \times 10^4 \quad \text{мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{\text{д}} := \left( \frac{\pi}{4} \right) \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P \quad Q_{\text{д}} = 6.954 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{\text{FM}} := \max \left( \left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right| \right) \quad Q_{\text{FM}} = 5.437 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Податливость прокладки:

$$y_{\text{II}} := \frac{h_{\text{II}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{II}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{II}}} \quad y_{\text{II}} = 9.437 \times 10^{-9} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

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

$$L_{\text{б0}} := 65 \quad \text{мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		51

$$L_{\text{б}} := \begin{cases} L_{\text{б0}} + 0.28d & \text{if } b_s = 1 \\ L_{\text{б0}} + 0.56d & \text{if } b_s = 2 \end{cases} \quad L_{\text{б}} = 71.44$$

Податливость болтов:

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E_{\text{б}} \cdot 20 \cdot A_{\text{б}}} \quad y_{\text{б}} = 1.598 \times 10^{-8} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расчетные параметры фланцев:

Параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 173.205 \quad \text{мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K_1 := \frac{D_H}{D} \quad K_1 = 1.13$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K_1^2 \cdot (1 + 8.55 \log(K_1) - 1)}{(1.05 + 1.945 K_1^2) \cdot (K_1 - 1)} \quad \beta_T = 1.261$$

$$\beta_U := \frac{K_1^2 \cdot (1 + 8.55 \log(K_1) - 1)}{1.36 (K_1^2 - 1) \cdot (K_1 - 1)} \quad \beta_U = 11.837$$

$$\beta_Y := \left[ \frac{1}{(K_1 - 1)} \right] \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \frac{K_1^2 \cdot \log(K_1)}{(K_1^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 16.077$$

$$\beta_Z := \frac{K_1^2 + 1}{K_1^2 - 1} \quad \beta_Z = 8.223$$

Коэффициенты для фланцевых соединений с приварным встык фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами и свободными фланцами:

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

Коэффициент  $\lambda$ :

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		52

$$\lambda_1 := \left( \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} \right) + \left( \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot S_0^2} \right) \quad \lambda_1 = 1.507$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda_1 \cdot l_0 \cdot S_0^2} \quad y_\phi = 1.065 \times 10^{-11} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi H} := \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_\phi}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\phi H} = 4.287 \times 10^{-14} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

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

$$C_F := \max \left[ 1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_\phi}{n \cdot \left[ 2 \cdot d + \left( \frac{6 \cdot h}{m_1 + 0.5} \right) \right]}} \right] \quad C_F = 1$$

Приведенный диаметр плоского фланца:

$$D_{пр} := D$$

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

$$b := 2z \quad \text{мм}$$

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

$$e_1 := 0.5 \cdot |D_{сп} - D - S_0| = 11$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:  $S_э := S_0$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

$$\gamma_1 := \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\sigma} \cdot \left( \frac{E_{\sigma 20}}{E_{\sigma}} \right) + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}}$$

$$\gamma_1 = 2.557 \times 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

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

$$\alpha_1 := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\sigma} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\phi}}$$

$$\alpha_1 = 0.786$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_{\sigma} + 2 \cdot y_{\phi n} \cdot b \cdot \left[ b + e - \left( \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right) \right]}{y_{\sigma} + y_{\Pi} \cdot \left( \frac{D_{\sigma}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\phi n} \cdot b^2}$$

$$\alpha_M = 1$$

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

$$Q_t := \gamma_1 \cdot [2 \cdot \alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_{\sigma} \cdot h \cdot (t_{\sigma} - 20)]$$

$$Q_t = 4.428 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{\sigma 1} := \max \left[ \left[ \alpha_1 \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right], \left[ \alpha_1 \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \left( \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right) - Q_t \right] \right]$$

$$P_{\sigma 1} = 9.972 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

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

$$P_{\sigma 2} = 1.393 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

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

$$P_{\sigma M} := \max(P_{\sigma 1}, P_{\sigma 2}) \quad P_{\sigma M} = 1.393 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{\sigma p} := P_{\sigma M} + (1 - \alpha_1) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{cp}}$$

$$P_{\sigma p} = 5.862 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки.

Расчетные напряжения в болтах (шпильках):

- при затяжке:

$$\sigma_{\sigma 1} := \frac{P_{\sigma M}}{A_b}$$

$$\sigma_{\sigma 1} = 62 \quad \text{МПа}$$

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{\sigma 2} := \frac{P_{\sigma p}}{A_b}$$

$$\sigma_{d, \sigma} = 152$$

$$\sigma_{\sigma 2} = 260.97 \quad \text{МПа}$$

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

$$\text{Prog}_6 := \begin{cases} \text{"Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\sigma 1} > \sigma_{20\sigma} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\sigma 2} > (\sigma_{d, \sigma}) \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Prog}_6 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

$$\sigma_{61} = 62 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{206} = 155 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{62} = 133.343 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{д.б} = 152 \quad \text{МПа}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{СП} \cdot b_{П}} \quad q = 3.774 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$\text{Prov}_7 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Prov}_7 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$

$$q = 3.774 \quad \text{МПа} \quad q_d = 130 \quad \text{МПа}$$

Расчет фланцев на статическую прочность:

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

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b \quad M_M = 1.406 \times 10^8 \quad \text{Н}\cdot\text{мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

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

$$M_P = 3.057 \times 10^8 \quad \text{Н}\cdot\text{мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda_1 \cdot (S_0 - c)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0M} = 112.433 \quad \text{МПа}$$

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

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \left[ \frac{(1.33\beta_F \cdot h + l_0)}{\lambda_1 \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \right] \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 15.842 \quad \text{МПа}$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \left[ \frac{(\beta_Y \cdot M_M)}{h^2 \cdot D} \right] - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 95.721 \quad \text{МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условия:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda_1 \cdot (S_0 - c)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = 244.503 \quad \text{МПа}$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца:

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

$$\sigma_{0MP} = 2.724 \quad \text{МПа}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

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

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rp} := \left[ \frac{(1.33 \beta_F \cdot h + l_0)}{\lambda_1 \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \right] \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 34.451 \quad \text{МПа}$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{Tp} := \left[ \frac{(\beta_Y \cdot M_p)}{h^2 \cdot D} \right] - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 208.161 \quad \text{МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев:

PR\_1 := "Условия статической прочности при затяжке НЕ выполняются"

PR\_2 := "Условия статической прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

PR\_3 := "Условия статической прочности выполняются"

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

$K_T := 1.3$

$$\text{Prov}_8 := \begin{cases} \text{PR}_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > K_T \cdot \sigma_{20} \\ \text{PR}_2 & \text{if } \max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0Mp} + \sigma_{Tp}|, |\sigma_{0p} - \sigma_{0Mp} + \sigma_{Rp}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0Mp}|) > K_T \cdot \sigma_{d,\phi} \\ \text{PR}_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov\_8 = "Условия статической прочности выполняются"

$$\max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0Mp} + \sigma_{Tp}|, |\sigma_{0p} - \sigma_{0Mp} + \sigma_{Rp}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0Mp}|) = 194.441$$

$$K_T \cdot \sigma_{d,\phi} = 215.15$$

$$\max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) = 208.154$$

$$K_T \cdot \sigma_{20} = 239.2$$

Проверка углов поворота фланца:

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\theta := M_p \cdot y_f \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \theta = 3.285 \times 10^{-3}$$

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

```
Prov_9 := | "Условие при испытаниях НЕ выполняется" if  $\theta > 1.3\theta_d$   
          | "Условие в рабочих условиях НЕ выполняется" if  $\theta > \theta_d$   
          | "Условия поворота плоского фланца выполняется" otherwise
```

Prov\_9 = "Условия поворота плоского фланца выполняется"

В данном разделе дипломной работы был произведен расчет фланцевого соединения, исходя из результатов данного расчета можно судить о его успешности. Все необходимые, согласно [7], критерии выполняются.

### 3.3.5 Расчет штуцеров

Штуцер показан на рис. 3.7 под номером 5.

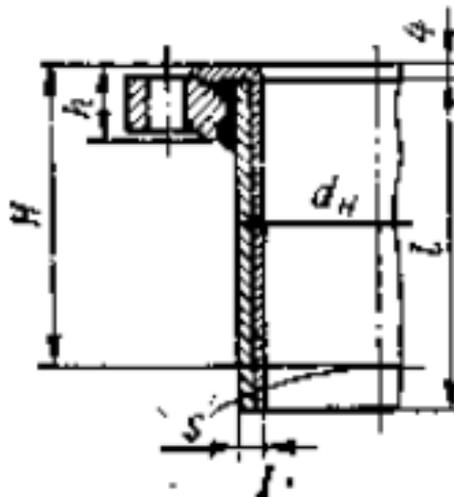


Рис. 3.7 Схема штуцера с плоским фланцем.

Расчет штуцеров ведется по формуле:

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

где  $G$  – массовый расход жидкости (газа), кг/с

$w$  – скорость жидкости (газа)

$$\omega_{ж} = 0,386 \text{ м/с}; \omega_{г} = 3,5 \text{ м/с};$$

$\rho$  – плотность жидкости (газа), кг/м<sup>3</sup>.

Диаметр штуцера для ввода исходной смеси равен:

$$d = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * \omega_{ж} * \rho_{ж}}} = \sqrt{\frac{4 * 1,3}{3,14 * 0,386 * 589,98}} = 0,0072 \text{ м}$$

Диаметр штуцера для выхода кубового остатка равен:

$$d = \sqrt{\frac{4 * W}{\pi * \omega_{ж} * \rho_{ж}}} = \sqrt{\frac{4 * 0,352}{3,14 * 0,386 * 589,98}} = 0,002 \text{ м}$$

Диаметр штуцера для отвода дистиллята из верхней части колонны равен:

$$d = \sqrt{\frac{4 * G}{\pi * \omega_{п} * \rho_{п}}} = \sqrt{\frac{4 * 0,46}{3,14 * 3,5 * 2,821}} = 0,059 \text{ м}$$

Диаметр штуцера для входа паров из кипятильника равен:

$$d = \sqrt{\frac{4 * G}{\pi * \omega_{п} * \rho_{п}}} = \sqrt{\frac{4 * 0,46}{3,14 * 3,5 * 2,821}} = 0,059 \text{ м}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Основные размеры патрубков, стандартных стальных фланцевых тонкостенных штуцеров приведены в табл. 3.15.

Табл. 3.15 - Основные размеры патрубков, стандартных стальных фланцевых тонкостенных штуцеров [8, стр.659].

Обозначение	$D_y$ , мм	$P_y$ , МПа	$S_T$ , мм
Г	100	1,0	20
Д	50	1,0	6
Е	100	1,0	9
Ж	50	1,0	6
И	50	1,0	6
К	50	1,0	6

Штуцер для входа жидкости питания К: Штуцер I-I 6-50 ОН 26-01-34-66

$$D_y = 50 \text{ мм}$$

Штуцер для выхода дистиллята Г: Штуцер I-I 20-100 ОН 26-01-34-66

$$D_y = 100 \text{ мм}$$

Штуцер для выхода кубовой жидкости Ж: Штуцер I-I 6-50 ОН 26-01-34-66

$$D_y = 50 \text{ мм}$$

Штуцер для входа флегмы Д: Штуцер I-I 6-50 ОН 26-01-34-66

$$D_y = 50 \text{ мм}$$

Штуцер для входа паров из кипятильника Е: Штуцер I-I 9-150 ОН 26-01-34-66

$$D_y = 100 \text{ мм}$$

Штуцер для отвода кубового остатка на циркуляцию (в кипятильник) И: Штуцер I-I 6-80 ОН 26-01-34-66

$$D_y = 50 \text{ мм}$$

### 3.3.6 Расчет укрепления отверстий

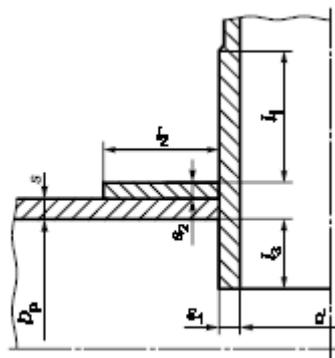


Рис. 3.8 проходящий штуцер [6, стр.19]



Рис. 3.9 Схема расположения штуцеров на аппарате

Расчетные диаметры укрепляемых элементов определяются по формулам [6, стр.5]:

Для цилиндрической обечайки [6, стр.4], штуцера Д, Е, К:

$$D_p = D = 1000 \text{ мм}$$

Для стандартного эллиптического днища [6, стр.4], штуцера Ж, Г:

$$x = 0$$

Где  $x$  – расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища.

$$D_{1p} = 2 * D \sqrt{1 - 3 * \left(\frac{x}{D}\right)^2} = 2000 \text{ мм}$$

Для штуцера И:

$$x_1 = 300 \text{ мм}$$

Где  $x_1$  – расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища.

$$D_{2p} = 2 * D \sqrt{1 - 3 * \left(\frac{x_1}{D}\right)^2} = 1708,801 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда, вычисляются по формуле [6, стр.7]:

$$d_0 = 2 * \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8\right) * \sqrt{D_p * (s - c)} = 682,036 \text{ мм}$$

Так как  $d_0$  больше диаметров патрубков, расчет на укрепление отверстий можно не проводить.

### 3.3.7 Расчет весовых характеристик колонны

Вес цилиндрического корпуса:

$$s = 0,012 \text{ м}$$

$$G_{ц} = \pi * (D + s) * s * H_{ц} * \rho_m * g = 6,26 * 10^4 \text{ Н}$$

Вес крышки и днища колонны:

$$G_{д} = \pi * (D + 2 * s)^2 * s * \rho_m * g = 2477,884 \text{ Н}$$

Вес корпуса:

$$G_{к} = G_{ц} + G_{д} = 6,508 * 10^4 \text{ Н}$$

Плотность изоляции:

$$\rho_{из} = \frac{\rho_{мв} * S_{из} + \rho_{ал} * S_{ал}}{S_{из} + S_{ал}} = 261,936 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Вес изоляции цилиндрической части колонны:

$$G_{из.ц} = \pi * (D_{в} + 2 * s_{ст} + (S_{из} + S_{ал})) * (S_{из} + S_{ал}) * H_{ц} * \rho_{из} * g = 4343,162 \text{ Н}$$

Вес изоляции крышки и днища:

$$G_{из.д} = \pi * (D_{в} + 2 * s_{ст})^2 * s_{ст} * (S_{из} + S_{ал}) * \rho_{из} * g = 12,468 \text{ Н}$$

Вес изоляции колонны:

$$G_{из} = G_{из.ц} + G_{из.д} = 4355,63 \text{ Н}$$

Вес внутренних устройств:

Вес одной колпачковой тарелки:

$$G_{н1s} = 6050 \text{ Н}$$

Количество ступеней:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

$$n_s = 30$$

Общий вес тарелок:

$$G_{ns} = G_{n1s} * n_s = 1,815 * 10^5 \text{ Н}$$

Вес распределительных и перераспределительных устройств:

$$G_{pt} = 15000 \text{ Н}$$

Вес отбойника:

$$G_{ot} = 838 \text{ Н}$$

$$G_{в.у.} = G_{ns} + G_{pt} + G_{ot} = 1,973 * 10^5 \text{ Н}$$

Вес жидкости в рабочих условиях (жидкость на тарелках):

$$G_{ж} = 23400 \text{ Н}$$

Вес наружных устройств:

$$G_{н.у.} = 0,1 * G_K = 6507,624 \text{ Н}$$

Вес колонны при рабочих условиях:

1,2 – коэффициент, учитывающий все выше не перечисленные устройства.

$$G_A = G_K + G_{ИЗ} + G_{н.у.} + G_{в.у.} + G_{ж} = 2,967 * 10^5 \text{ Н}$$

Вес колонны при монтаже:

$$G_{А.М} = G_K + G_{ИЗ} + G_{н.у.} + G_{в.у.} = 2,733 * 10^5 \text{ Н}$$

### 3.3.8 Расчет на ветровую нагрузку

Цель: проверка аппарата на устойчивость против опрокидывания.

#### 3.3.8.1 Определение периода собственных колебаний колонны

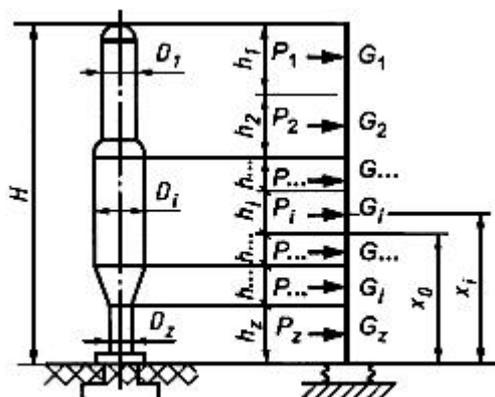


Рис. 3.10 Расчетная схема аппарата [19, стр. 2]

Колонну разбиваем по высоте на 4 участка. Высота каждого участка должна быть не более 10 м. Вес участка аппарата принимают сосредоточенным в его середине. Нагрузку от веса аппарата прикладывают вертикально, а ветровую горизонтально.

Высота первого участка:

$$H_0 = \frac{H}{3} = 8,25 \text{ м}$$

Высота второго участка:

$$H_1 = H_0 = 8,25 \text{ м}$$

Высота третьего участка:

$$H_2 = H_0 = 8,25 \text{ м}$$

Высота четвертого участка:

$$H_4 = 1,3 \text{ м}$$

Вес 1 – ого метра колонны:

$$G_{1\text{метра}} = \frac{G_A}{H} = 1,1987 * 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{метр}}$$

Вес первого участка:

$$G_0 = G_{1\text{метра}} * H_0 = 0,99 * 10^5 \text{ Н}$$

Вес второго участка:

$$G_1 = G_{1\text{метра}} * H_1 = 0,99 * 10^5 \text{ Н}$$

Вес третьего участка:

$$G_1 = G_{1\text{метра}} * H_2 = 0,99 * 10^5 \text{ Н}$$

Исходные данные:

Все расчетные сечения и высоты выбираются в соответствии с расчетной схемой

Количество участков  $hr_z := 4$

Высота колонны  $H_K := 24.75 \text{ м}$

Высота опоры  $H_{оп} := 1.3 \text{ м}$

$H_1 := 8.25 \text{ м}$

$H_2 := 8.25 \text{ м}$

$H_3 := 8.25 \text{ м}$

$H := H_1 + H_2 + H_3 = 24.75 \text{ м}$

Высота опоры (конструктивно):

$h := 1.3 \text{ м}$

Высота аппарата вместе с опорой:

$H_{ап} := h + H = 26.05 \text{ м}$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		65

схема = "расчетная схема аппарата в виде консольного стержня

Высота участков колонны:

$$h_1 := 8.25 \quad \text{м} \quad h_2 := 8.25 \quad \text{м} \quad h_3 := 8.25 \quad \text{м}$$

Высота центров масс разбитых участков от фундамента:

$$x_3 := \frac{h_3}{2} = 4.125 \quad \text{м}$$

$$x_2 := h_3 + \frac{h_2}{2} = 12.375 \quad \text{м}$$

$$x_1 := h_3 + h_2 + \frac{h_1}{2} = 20.625 \quad \text{м}$$

Вес аппарата, заполненного жидкостью:

$$M_{\text{ап}} := 2.967 \cdot 10^5 \quad \text{Н}$$

Вес *i*. участков аппарата:

$$G_1 := 0.99 \cdot 10^5 \quad \text{Н}$$

$$G_2 := 0.99 \cdot 10^5 \quad \text{Н}$$

$$G_3 := 0.99 \cdot 10^6 \quad \text{Н}$$

Определение периода собственных колебаний: (минимальный и максимальный)

Модуль упругости материала в рабочих условиях:

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

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:

$$I_1 := \left( \frac{\pi \cdot D_1^3}{8} \right) \cdot (s_1 - c) = 6.172 \times 10^{-3} \text{ м}^4$$

Момент инерции нижнего основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси:

$$I_2 := \left( \frac{\pi \cdot D_2^3}{8} \right) \cdot (s_1 - c) = 3.572 \times 10^6 \text{ м}^4$$

Минимальный период собственных колебаний (пустой аппарат)

$$T_{\min} := 1.79 \cdot H \cdot \sqrt{\left( \frac{M_{\text{ан}}}{g} \right) \cdot \frac{H}{E \cdot I_2}} = 0.047 \text{ с}$$

Максимальный период собственных колебаний:

$$T_{\max} := 1.79 \cdot H \cdot \sqrt{\left( \frac{M_{\text{ан}}}{g} \right) \cdot \frac{H}{E \cdot I_2}} = 0.047 \text{ с}$$

скоростной напор ветра, согласно:

$$q_0 := 350 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

коэффициент  $\Theta_i$  для каждого участка:

$$\Theta_1 := \left( \frac{x_1}{10} \right)^{0.32} = 1.261 \quad \Theta_3 := \left( \frac{x_3}{10} \right)^{0.32} = 0.753$$

$$\Theta_2 := \left( \frac{x_2}{10} \right)^{0.32} = 1.071$$

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

$$q_{1\text{ст}} := q_0 \cdot \Theta_1 \cdot K = 308.867 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

$$q_{2\text{ст}} := q_0 \cdot \Theta_2 \cdot K = 262.289 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

$$q_{3\text{ст}} := q_0 \cdot \Theta_3 \cdot K = 184.545 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

Толщина стенки аппарата, в местах соприкосновения с опорой:

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

Наружный диаметр участка:

$$D_{\text{нар1}} := D_1 + 2 \cdot s_{\text{ст}} = 1.228 \quad \text{м}$$

$$D_{\text{нар2}} := D_2 + 2 \cdot s_{\text{ст}} = 1 \times 10^3 \quad \text{м}$$

Статическая составляющая ветровой нагрузки на каждом участке:

$$P_{1\text{ст}} := q_{1\text{ст}} \cdot D_{\text{нар1}} \cdot h_1 = 3.129 \times 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

$$P_{2\text{ст}} := q_{2\text{ст}} \cdot D_{\text{нар2}} \cdot h_2 = 2.164 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

$$P_{3\text{ст}} := q_{1\text{ст}} \cdot D_{\text{нар2}} \cdot h_1 = 2.548 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

### Коэффициент динамичности:

При минимальном периоде собственного колебания:

$$\varepsilon_1 := T_{\text{мин}} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 1.102 \times 10^{-3}$$

$$\xi_1 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon_1} = 1.231$$

При максимальном периоде собственного колебания:

$$\varepsilon_2 := T_{\text{макс}} \cdot \frac{\sqrt{q_0}}{790} = 1.102 \times 10^{-3}$$

$$\xi_2 := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon_2} = 1.231$$

Коэффициент пульсаций скоростного напора:

$$m_1 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_1}{10}\right)^{-0.15} = 0.682 \quad m_3 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_3}{10}\right)^{-0.15} = 0.868$$

$$m_2 := 0.76 \cdot \left(\frac{x_2}{10}\right)^{-0.15} = 0.736$$

Коэффициент увеличения скорости напора:

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$\beta_1 := 1 + \xi_2 \cdot m_1 = 1.839 \quad \beta_3 := 1 + \xi_2 \cdot m_3 = 2.068$$

$$\beta_2 := 1 + \xi_2 \cdot m_2 = 1.906$$

При минимальной силе тяжести аппарата:

$$\beta_7 := 1 + \xi_1 \cdot m_1 = 1.839 \quad \beta_9 := 1 + \xi_1 \cdot m_3 = 2.068$$

$$\beta_8 := 1 + \xi_1 \cdot m_2 = 1.906$$

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

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$P_1 := 0.6 \cdot \beta_1 \cdot D_1 \cdot q_{1ст} \cdot x_1 = 8.435 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

$$P_2 := 0.6 \cdot \beta_2 \cdot D_2 \cdot q_{2ст} \cdot x_2 = 3.712 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

$$P_3 := 0.6 \cdot \beta_3 \cdot D_2 \cdot q_{3ст} \cdot x_3 = 9.447 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

При минимальном весе аппарата:

$$P_7 := 0.6 \cdot \beta_7 \cdot D_1 \cdot q_{1ст} \cdot x_1 = 8.435 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

$$P_8 := 0.6 \cdot \beta_8 \cdot D_2 \cdot q_{2ст} \cdot x_2 = 3.712 \times 10^6 \quad \text{Н}$$

$$P_9 := 0.6 \cdot \beta_9 \cdot D_2 \cdot q_{3ст} \cdot x_3 = 9.447 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

При максимальной силе тяжести аппарата:

$$M_{B1} := P_1 \cdot x_1 = 1.74 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B2} := P_2 \cdot x_2 = 4.593 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B3} := P_3 \cdot x_3 = 3.897 \times 10^6 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B\_max} := M_{B1} + M_{B2} + M_{B3} = 5 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

При минимальной силе тяжести аппарата:

$$M_{B7} := P_7 \cdot x_1 = 1.74 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B8} := P_8 \cdot x_2 = 4.593 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B9} := P_9 \cdot x_3 = 3.897 \times 10^6 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{B\_min} := M_{B7} + M_{B8} + M_{B9} = 5 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

#### Расчетные размеры опорного кольца:

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

Внутренний расчетный диаметр кольца:

$$D_{1B} := D_2 \cdot (1 - 0.65 \cdot k_0) = 902.5 \quad \text{м}$$

Наружный диаметр кольца:

$$D_{3B} := D_2 \cdot (1 + 1.35 \cdot k_0) = 1.203 \times 10^3$$

Опорная площадь кольца:

$$F_k := \left( \frac{\pi \cdot D_{3B}^2}{4} \right) - \left( \frac{\pi \cdot D_{1B}^2}{4} \right) = 4.957 \times 10^5 \quad \text{м}^2$$

Ширина фундаментного кольца:

$$L_\phi := D_{3B} - D_{1B} = 300 \quad \text{м}$$

Момент инерций фундаментного кольца:

$$I_k := \frac{\pi \cdot D_2^3}{8} \cdot L_\phi = 1.178 \times 10^{11} \quad \text{м}^4$$

Момент инерций подошвы фундамента относительно центральной оси:

$$I_\phi := 1.3 \cdot I_k = 1.531 \times 10^{11}$$

Момент сопротивления опорной площадки кольца:

$$W_k := \frac{\pi}{32} \cdot \left( \frac{D_{3B}^4 - D_{1B}^4}{D_{3B}} \right) = 1.165 \times 10^8 \quad \text{м}^3$$
$$M_{\text{ад.}} := 1.328 \cdot 10^4$$

Максимальное напряжение сжатие на опорной поверхности опорного кольца:

$$\sigma_{\text{max}} := \frac{M_{\text{ап}}}{F_k} = 0.027 \quad \text{Па}$$

Допускаемая удельная нагрузка на опорной поверхности:

$$q_{\text{д.}} := 23 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

Проверка выполнения условий:

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

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

Временное сопротивление материала

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

Предел выносливости:

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

Номинальная расчетная толщина опорного кольца:

$$l := \frac{D_{3B} - D_2}{2} = 101.25 \text{ м}$$

$$s_{kx} := 1.73 \cdot l \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{-1}}} = 1.933 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Принимаем толщину опорного кольца (конструктивно):

$$s_{kx} := 0.04 \text{ м}$$

Расчет на устойчивость аппарата против опрокидывания от ветровой нагрузки:

$$\sigma := \max\left(\frac{M_{\text{ап}}}{F_k} + \frac{M_{B_{\text{max}}}}{W_k}, \frac{M_{\text{ап}}}{F_k} - \frac{M_{B_{\text{min}}}}{W_k}\right) = 0.456 \text{ Па}$$

Общая условная расчетная нагрузка на фундаментные болты:

$$P_{\sigma} := 0.785 \cdot (D_{3B}^2 - D_{1B}^2) \cdot \sigma = 2.261 \times 10^5 \text{ Па}$$

Количество анкерных болтов (Задаем конструктивно):

$$n_b := 24$$

Нагрузка на один болт:

$$P_{\sigma 1} := \frac{P_{\sigma}}{n_b} = 9.42 \times 10^3 \text{ Па}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		71

Расчетный внутренний диаметр резьбы болта:

Материал для болта Сталь 15ХМ при температуре 20 градусов.

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

Расчетный диаметр болтов:

$$d_{\text{рас\_болт}} := \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\sigma 1}}{\pi \cdot \sigma_{\text{в}}}} + c = 0.013 \text{ м}$$

Принимаем стандартный диаметр болта:

M20 x 6

$$d_{\text{б}} := 0.020 \text{ м}$$

Расчетный диаметр болтовой окружности:

$$D_{2 \text{ в}} := (D_2 + 2 \cdot s_{\text{сг}} + 4 \cdot d_{\text{б}}) = 116 \times 10^3 \text{ м}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

## Резюме по разделу «Механический расчет».

В данном разделе были рассчитаны такие показатели как:

4. Расчетное давление в аппарате:  $P_p = 0,681$  МПа
5. Давление гидроиспытаний:  $P_{и} = 0,944$  МПа
6. Толщина стенки цилиндрической обечайки:  $S_{ст} = 14$  мм;
7. Толщина стенки эллиптического днища и крышки:  $S_{кр} = 14$  мм;
8. Допускаемое давление при толщине стенки  $S_{ст} = 14$  мм: 1) при рабочих условиях: 2,974 МПа; 2) при условиях гидроиспытаний: 3,892 МПа;
9. Была произведена проверка выполнения условий расчетных формул для цилиндрической обечайки:

$$\frac{P_{д.}}{P_{д.и.}} \leq 1$$

$$\frac{P_{д.}}{P_{д.и.}} = 0,764;$$

- Была произведена проверка выполнения условий расчетных формул для эллиптического днища:  $0,002 \leq \frac{S_{раст.} - c}{D} \leq 0,1$  – для эллиптических днищ и крышек;

$$\frac{S_{раст.} - c}{D} = 0,009 \text{ мм}$$

10. Расчетная толщина тарелки:  $S' = 3,7$  мм;
11. Величина прогиба тарелки не превышает 1/2000 от ее D, и равна 0,0005 м;
12. При расчете фланцевого соединения выполняются такие показатели как:  
Проверка условий прочности болтов (шпилек) при затяжке и в рабочих условиях:

$$\text{Prov}_6 := \begin{cases} \text{"Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{б1} > \sigma_{20б} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{б2} > (\sigma_{д.б}) \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Prov}_6 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$\text{Prov}_7 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} \\ \text{Prov}_7 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка условий статической прочности фланцев:

$\text{PR}_1 := \text{"Условия статической прочности при затяжке НЕ выполняются"}$

$\text{PR}_2 := \text{"Условия статической прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"}$

					<b>Механический расчет</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73

PR\_3 := "Условия статической прочности выполняются"

$$\text{Prov}_8 := \begin{cases} \text{PR}_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > K_T \cdot \sigma_{20} \\ \text{PR}_2 & \text{if } \max(|\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp}|, |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}|, |\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}|) > K_T \cdot \sigma_{d.f} \\ \text{PR}_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov\_8 = "Условия статической прочности выполняются"

Проверка углов поворота фланца:

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \theta = 3.285 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца:

$$\theta_d := 0.013$$

$$\text{Prov}_9 := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \theta > 1.3\theta_d \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \theta > \theta_d \\ \text{"Условия поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Prov\_9 = "Условия поворота плоского фланца выполняется"

- Табл. 3.15 - Основные размеры патрубков, стандартных стальных фланцевых тонкостенных штуцеров [8, стр.659].

Обозначение	D <sub>y</sub> , мм	P <sub>y</sub> , МПа	S <sub>t</sub> , мм
Г	100	1,0	20
Д	50	1,0	6
Е	100	1,0	9
Ж	50	1,0	6
И	50	1,0	6
К	50	1,0	6

- Расчет необходимости укрепления отверстий показал, что укреплять отверстия не требуется.

## 4. Социальная ответственность

### Введение

В данном разделе выпускной квалификационной работы дается: описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования), отбор законодательных и нормативных документов по теме, анализ выявленных опасных и вредных факторов проектируемой производственной среды, охрана окружающей среды, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

### 4.1 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации данного прибора. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [19]. Выявленные факторы перечислены в табл. 3.1.

Подп. и дата								
	Взам. инв. №							
Подп. и дата								
	Инв. № дубл.							
Подп. и дата								
	Инв. № подл.							
Инв. № подл.	Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.УОЛФ.000.000 РПЗ		
	Студент	Ильинский Н.Е.						
	Руковод.	Семакина О.К.				Социальная ответственность		
	Конс.	Штейнле А.В.						
	Н. контр.							
	Руков. ООП	Краснокутская Е.А.						
Лит	Лист	Листов						
Д	75	14						
НИ ТПУ ИШНТП								
Группа 4К41								

Табл. 4.1. Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации  
ректификационной колонны

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	вредные	опасные	
1.Монтаж опор; 2.Монтаж аппарата; 3.Монтаж арматуры; 4. Наладка аппарата; 5.Эксплуатация.	1. Повышенный уровень вибрации; 2. Повышенная температура воздуха рабочей зоны; 3. Повышенный уровень шума;	1.Электрический ток. 2.Повышенная температура поверхности оборудования.	1.ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. 2.ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. 3.СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 4.ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. 5.ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. 6.СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливает гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; 7.СанПиН 2.2.4.1191-03 устанавливает требования к электромагнитным полям для потребительской продукции; 8.ГОСТ 12.1.007-76 устанавливает требования безопасности вредных веществ.

#### 4.1.1 Анализ вредных выявленных факторов при эксплуатации проектируемой ректификационной колонны

Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией [20].

					<b>Социальная ответственность</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

#### 4.1.1.1 Повышенный уровень вибрации

Появление данного вредного фактора вызвано тем, что через ректификационную колонну проходят потоки вещества со скоростью от 0,6 до 1 м/с. При этом поток постоянно ударяясь о стенки и перегородки аппарата. Вследствие этого возникает вибрация. Под воздействием вибрации может возникать усталость, а как следствие низкий уровень производительности труда оператора.

Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора не менее 1 дБ (в 1,12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза). При показателе превышения более 12 дБ (в 4 раза) запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию [22].

Основным способом обеспечения вибробезопасности должно быть создание и применение вибробезопасных машин.

Создание вибробезопасных машин должно обеспечиваться применением методов, снижающих вибрацию в источнике возбуждения, которые приведены в ГОСТ 26568-85 [22].

#### 4.1.1.2 Повышенная температура воздуха рабочей зоны

Относительно высокое значение температуры воздуха рабочей зоны обуславливается тем, что в ректификационной колонне производится массообменный процесс. Корпус аппарата нагревается до 170 градусов Цельсия и нагревает воздух. На аппарате установлена теплоизоляция для уменьшения тепловых потерь и защиты от ожогов.

Санитарные правила и нормы 2.2.4.548-96 устанавливают определённый микроклимат для всех типов рабочих помещений. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений согласно [23] в табл. 4.2.

Табл. 4.2. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Теплый	22-24	40-60	0,1

### 4.1.1.3 Повышенный уровень шума

Шум непосредственно связан с вибрацией. В ректификационной колонне проходят потоки гидрогенизата, постоянно ударяясь о стенки и перегородки аппарата. Кроме того, основной шум создают насосы, которые и перекачивают потоки гидрогенизата.

Шум и вибрация не только ухудшают самочувствие человека и снижают производительность труда в среднем на 10-15%, но и очень часто приводят к профессиональным заболеваниям. Физиопатологические последствия могут проявляться в форме нарушения слуха и других анализаторов.

Шумы создаются работающими приборами, вентиляторами. В большинстве случаев технически трудно снизить шум до очень малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий, т.е. таких, когда вредное действие шума на человека не проявляется или проявляется незначительно. Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с [23]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА. [23].

В качестве средств индивидуальной защиты от шума в зависимости от конструктивного исполнения используются [20]:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски; противошумные костюмы.

## 4.1.2 Анализ опасных выявленных факторов при эксплуатации проектируемой ректификационной колонны

### 4.1.2.1 Электрический ток

При сборке, настройке, подключении и эксплуатации разрабатываемого устройства возможно поражение электрическим током, что является опасным фактором

Согласно требованиям конструкция производственного оборудования, приводимого в действие электрической энергией, должна включать устройства (средства) для обеспечения электробезопасности.

Технические средства и способы обеспечения электробезопасности (например, ограждение, заземление, зануление, изоляция токоведущих частей, защитное отключение

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

и др.) должны устанавливаться в стандартах и технических условиях на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок) с учетом условий эксплуатации и характеристик источников электрической энергии.

Производственное оборудование должно быть выполнено так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве, представляющем опасность для работающего, и исключить возможность пожара и взрыва [20].

Основные способы и средства электрозащиты:

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;
- зануление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электрозащиты [9].

#### **4.1.2.2 Повышенная температура поверхности оборудования.**

На ректификационную колонну необходимо установить защитный экран для предотвращения разбрызгивания жидкости в случае выхода из строя прокладок, а также от воздействия факторов. Защитный экран может быть изготовлен из листа оцинкованной или нержавеющей стали толщиной от 0,5 до 0,8 мм и размещается между пакетом пластин и шпильками, стягивающими теплообменник. Защитный экран в комплект поставки не входит [28].

При необходимости нахождения людей вблизи горячих частей оборудования должны быть приняты меры по их защите ожогов и действия

высокой температуры (ограждение действующего оборудования, вентиляция, спецодежда и т.п.) [29].

					<b>Социальная ответственность</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

Все горячие части оборудования, трубопроводы, баки и другие элементы, прикосновение к которым может вызвать ожоги, должны иметь тепловую изоляцию. Температура на поверхности изоляции при температуре окружающего воздуха 25 град. С должна быть не выше 45 град. С. Окраска, условные обозначения, размеры букв и расположение надписей должны соответствовать Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды и ГОСТ 14202-69[29].

Трубопроводы агрессивных, легковоспламеняющихся, горючих, взрывоопасных или вредных веществ должны быть герметичными. В местах возможных утечек (краны, вентили, фланцевые соединения) должны быть установлены защитные кожухи, а при необходимости - специальные устройства со сливом из них продуктов утечек в безопасное место [29].

## 4.2 Экологическая безопасность

НПЗ является источником загрязнения окружающей среды. В процессе работы предприятия в атмосферу в год выбрасывается большое количество у/в, оксида углерода, сероводорода и т.д., которые распространяются на большие расстояния.

Работа на «Стрежевском НПЗ» характеризуется опасностью вдыхания вредных веществ, таких как, например, пары нефти, углеводородных газов (этан, пропан, бутан), водородсодержащих газов (водород, сероводород), дихлорэтан, этилмеркоптан.

Охрана окружающей среды – комплекс мер, предназначенных для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на природу.

Организация природоохранной системы на нефтеперерабатывающем заводе ООО «Стрежевской НПЗ» была предусмотрена еще на стадии проектирования завода. Проектом учтены основные принципы обеспечения экологической безопасности от производственной деятельности завода:

- Обеспечение максимального снижения негативного воздействие от деятельности НПЗ в соответствии с нормативами в области охраны окружающей среды;
- Предотвращение возможных негативных экологических последствий от хозяйственной деятельности предприятия, отказ от проектов если их последствия непредсказуемы для окружающей среды.

На этапе подготовительных работ получена все разрешительные документы по природоохранной деятельности предприятия:

- Лицензия на обращение с отходами предприятия;
- Разрешение на выброс вредных веществ в атмосферу;
- Нормативы допустимых сбросов вредных загрязняющих веществ;

					<b>Социальная ответственность</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

- Разрешение на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду.

С целью уменьшения воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду, проведены следующие мероприятия:

- Применение герметичного оборудования;
- Хранение продуктов в закрытых емкостях;
- Исключение условий возникновения аварийных ситуаций с помощью защиты КИП и АСУ;
- Контроль наличия утечек;
- Использование на наливных автостоянках устройств для герметичного налива в цистерны;
- Размещение оборудования на площадках с твердым покрытием;
- Химзагрязненные и ливневые стоки проходят очистку от нефти и нефтепродуктов на очистных сооружениях.

Токсичные свойства сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства приведены в табл. 3.1.

Табл. 4.3 - Показатели токсичности сырья и материалов

№ п/п	Наименование	Агрегатное состояние	ПДК вредных веществ	Характеристика токсичности	Класс опасности (ГН 2.2.5.686-98)
1	Нафта (прямогонный бензин), фракция 32-163 (27-175°C)	Жидкость	100	Вызывает раздражение кожи. Пары обладают наркотическим действием. При высокой концентрации – острое отравление. При воздействии на кожу обезжиривает ее и разрушает.	4
2	Углеводородный газ: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Этан</li> <li>• Пропан</li> <li>• Бутан</li> </ul>	Газ Газ Газ	300	Являются сильнейшими наркотиками. Вызывают расстройство центральной нервной системы, раздражают дыхательные пути, снижают чувствительность роговицы.	4 4 4
3	Дихлорэтан	Жидкость	1	Действие на организм аналогично действию	2

				ароматических у/в с невысокой степенью токсичности.	
4	Этилмеркаптан	Жидкость	1	Легковоспламеняющаяся жидкость с резким запахом, при вдыхании паров появляется рвота, понос, кровь в моче. Действует на ЦНС.	2
5	Водородосодержащий газ: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Водород</li> <li>• Сероводород</li> </ul>	Газ Газ	10	Токсичность ВСГ (отдувочный С-300) обусловлена содержанием сероводорода. При малых концентрациях – раздражение слизистых оболочек, светобоязнь, слезоточивость; при сильной интоксикации – кашель, рвота, стесненное дыхание; при концентрации 1 мг/л – паралич дыхательных путей.	2 2

Деятельность предприятия по обращению с опасными отходами:

- Складирование опасных промышленных отходов на заводе не предусматривается;
- Отработанные вещества по трубопроводам отправляются на место утилизации;
- Реагенты участвующие в технологическом процессе хранятся на специально оборудованном складе;
- Шлам и отработанный песок собираются в металлические контейнеры и вывозятся на полигон промышленных токсичных отходов.

## 4.2.1 Защита гидросферы и литосферы

При характеристике НПЗ как источника загрязнения окружающей среды следует отметить, что в водоем ежегодно сбрасывается огромное количество сточной воды с присутствием в ней загрязняющих веществ (нефтепродуктов, взвешенных веществ, солей и т.д.)

На объем сточных вод, отводимых с НПЗ в водоем, влияет и качество используемой воды. Загрязненность оборотной воды различными органическими примесями и минеральными солями, чередование их нагрева и испарения ухудшают условия теплопередачи, в результате увеличивается расход оборотной воды, что вызывает перегрузку очистных сооружений и снижает эффективность очистки.

Часто почва заводской площадки загрязняется от различных аварийных утечек и разлива нефтепродуктов, которые, проникая в почву, загрязняют грунтовые воды и, испаряясь, особенно в летний период, загрязняет окружающий воздух. Сточные воды являются также источником загрязнения почвы, куда они могут проникнуть из-за недостаточной герметичности канализационных колодцев, очистных сооружений и стыков труб сетей промышленной канализации.

Почва может загрязняться также различными твердыми и жидкими отходами: нефтяной грязью, различными шламами, отработанными глинами, пылью, илом.

С целью предотвращения загрязнений поверхностных и подземных вод от загрязнений предусмотрено:

- Отвод загрязненных вод на очистные сооружения;
- Повторное использование очищенных сточных вод;
- Отбортовка территории возможных проливов нефти и нефтепродуктов асфальтобетонным покрытием;
- Размещение заглубленных емкостей в бетонных приямках, засыпанных песком;
- Проведение аналитического контроля состава очищенных сточных вод.

## 4.2.2 Защита атмосферы

Табл. 4.4 - Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу

Безвозвратные потери нефти и нефтепродуктов	%
Потери углеводородов в окружающую атмосферу (включая сернистые соединения) в том числе:	63,0
• Из резервуаров и емкостей для хранения нефти и нефтепродуктов (открытого типа с шатровой крышей);	40,0
• С поверхности сточной жидкости в нефтеловушках и прудах-отстойниках из сооружений очистки сточных вод, от испарения из	

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

канализационных колодцев и градирен;	19,0
• При наливе в цистерны и при других товарных операциях на эстакадах открытого типа;	1,3
• Прочие источники испарения (утечки через неплотности, пропуски через воздушники на аппаратах, не подключенных к факельной линии и др.	2,7
Потери при сжигании на факелах (при отсутствии газгольдеров для улавливания сбрасываемых факельных газов)	17,0
Потери при выжигании кокса с катализатора, с газами разложения на АВТ и битумных установках, от разлива и утечек в грунт, со шламами и глинами и т.д.	19,0
Потери со сточными водами (до биологической очистки при содержании в них 75 мл/г нефтепродуктов)	1,0
Всего безвозвратные потери	100,0

С целью охраны воздушного бассейна выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы вредных веществ в атмосферу:

- Использование герметичного оборудования;
- Утилизация углеводородных газов, образующихся в технологическом процессе, путем сжигания в качестве топлива;
- Подъем на оптимальную высоту труб выбросов организованных источников, для улучшения рассеивания;
- Установка на территории промплощадки датчиков загазованности;
- Система налива автоцистерн оснащена автоматическими ограничителями налива.

## 4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

### 4.3.1 Пожарная и взрывная опасность

Нафту относят к классу 4 ЛВЖ с температурой вспышки от – 30 до – 40 °С. При работе оборудования нельзя допускать открытого огня, искр и курения. Смесь паров нафты с воздухом взрывоопасна.

При сливно-наливных операциях следует строго соблюдать правила защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Производственные помещения, в которых ведутся работы с нафтой, должны быть обеспечены приточно-вытяжной вентиляцией, а оборудование-местными отсосами. В помещениях для хранения и применения нафты запрещается обращение с открытым огнем, а также использование инструментов, дающих при ударе искру.

Электрооборудование и искусственное освещение должно быть выполнено во взрывобезопасном исполнении.

Для тушения нефти необходимо применять тонкораспыленную воду, химическую и воздушно-механическую пену. Для тушения небольших очагов горения применяют ручные пенные или углекислотные огнетушители. При разливе нефти обезвреживание производить засыпкой песком с выносом его в специально отведенное место.

### **4.3.2 Действия работников при возникновении аварий и аварийных ситуаций.**

Основные мероприятия, обеспечивающие проектные решения и безопасность ведения технологического процесса:

- Все параметры процесса контролируются и регулируются с необходимой записью отдельных параметров. На аппаратах, где это необходимо, предусмотрена установка приборов КИПиА;
- Оборудование установки размещено на наружной площадке, что обеспечивает естественную вентиляцию, а, следовательно, и более безопасные условия эксплуатации;
- Оборудование и трубопроводы, применяемые на установке полностью герметичны;
- На трубопроводах питания установок предусмотрена отключающая арматура, управляемая дистанционно со щита в операторной КИПиА и ручная отсекающая арматура;
- Оборудование, работающее под давлением, снабжено предохранительными клапанами;
- Для безопасного обслуживания аппаратов предусмотрены обслуживающие площадки;
- Для опорожнения оборудования в случае аварии предусмотрена закрытая дренажная система;
- Для контроля загазованности установки на площадках и в укрытиях размещены датчики до взрывоопасных концентраций горючих газов и паров (американских и российский образцов):
  - В технологических насосных;
  - В компрессорной;
  - На реакторно – печном блоке;
  - На площадках с технологическим оборудованием;
  - В резервуарном парке.

Газоанализаторы обеспечивают подачу предупреждающего звукового сигнала при концентрации горючих газов и паров. Сигналы подаются по месту и на щит в операторную.

Для укрытий предусмотрено включение вентиляции и отключение насосов при повышении концентрации паров до критического значения.

					<b>Социальная ответственность</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

Наличие в помещении в воздухе рабочей зоны паров у/в и сероводорода более ПДК (300 и 10 мг/м<sup>3</sup>) и не применение средств индивидуальной защиты (СИЗ) может привести к различного рода заболеваниям – бронхитам, отекам легких, хроническим заболеваниям глаз и кожи, отравлениям.

Нефть и нефтепродукты относятся к числу вредных веществ, обладающих токсичными свойствами.

Основными требованиями безопасности при выполнении производственных операций являются:

- Соблюдение норм технологического режима;
- Систематическое наблюдение за аппаратами, оборудованием и трубопроводами;
- Выполнение установленных правил пуска, остановки и эксплуатации оборудования;
- Постоянный ремонт и контроль средств КИПиА;
- Безотказная работа противопожарной защиты, системы сигнализации и блокировок;
- Наличие и поддержание в порядке первичных средств пожаротушения;
- Проведение огневых, ремонтных и газоопасных работ в строгом соответствии с инструкциями;
- Курение в специально отведенных местах;
- Запрещение проведение работ с применением искрообразующего инструмента во взрывоопасных местах;
- Запрещение сливо-наливных операций при отсутствии на транспорте искрогасителя, без заземления автоцистерн и стояков в течении времени проведения операций;
- Запрещение открытого дренирования нефти и нефтепродуктов из аппаратов и трубопроводов.

### 4.3.3 Способы и средства пожаротушения.

Технологический процесс на установке по переработке у/в сырья на «Стрижевском НПЗ» относится:

- К взрывоопасному, т.к. по условиям технологического процесса могут образоваться взрывоопасные смеси горючих газов или паров с воздухом (пары бензина, дизельного топлива, у/в газы);
- К пожароопасному, т.к. на установках вырабатывается горючее вещество – мазут.

На всей территории завода установлены газоанализаторы, которые при достижении концентрации взрывоопасного вещества в воздухе помещения 20 % от нижнего предела взрываемости сигнализатор срабатывает.

					<b>Социальная ответственность</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

В соответствии с требованием норм по пожаротушению на установке должны быть предусмотрены первичные и стационарные средства пожаротушения, а также пожарная сигнализация.

Согласно на установке предусмотрены следующие средства пожаротушения:

- первичные средства пожаротушения (огнетушители – пенные ОХП-10, корюшковые ОПУ-10, ОПС-10г, углекислотные ОУ-5, ОУ-8; кошмы, ящики с песком, лопаты и т.д.);
- стационарная система пенотушения открытой насосной;
- водяная оросительная система колонных аппаратов;
- лафетные стволы;
- пожарные краны в помещении компрессорной.

#### **4.4 Безопасность при чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайные ситуации (ЧС) - совокупность таких обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями, поражениями людей, изменением экологической обстановки.

К чрезвычайным ситуациям относятся: производственные аварии, стихийные бедствия, военные конфликты.

В условиях ЧС необходимо знать правила поведения во избежание паники и несчастных случаев.

Стихийные бедствия - ураганы, наводнения, землетрясения предотвратить нельзя, поэтому, отключив электричество в здании, его необходимо покинуть или спуститься в подвальное помещение (бомбоубежище).

При возникновении военного конфликта нужно эвакуировать из здания людей или спуститься в подвал (бомбоубежища).

Эвакуационные пути - это пути, ведущие к эвакуационным выходам. Наиболее распространенными путями эвакуации являются проходы, коридоры, фойе и лестницы.

Самое главное - при любой чрезвычайной ситуации сохранять спокойствие и не забывать отключить электроэнергию и электроприборы. Иначе, это приведет к ещё большим разрушениям.

					<b>Социальная ответственность</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

При поступлении сигнала об угрозе нападения противника все работники лаборатории должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, после чего должны удалиться в убежище согласно плану эвакуации из помещения.

#### **4.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”. Для реализации этих законов приняты Постановления Правительства РФ “О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда”, “О службе охраны труда”, “О Федеральной инспекции труда” и др. [34].

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

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

Федеральная служба по труду и занятости (Роструд) осуществляет функции по надзору и контролю в сфере труда, а также государственный надзор и контроль за соблюдением, в частности, трудового законодательства и нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права; установленного порядка расследования и учета несчастных случаев на производстве.

Федеральное агентство по здравоохранению и социальному развитию (Росздрав) организует деятельность по установлению связи заболевания с профессией, государственной службы медико-социальной экспертизы и др.

Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения и социального развития (Росздравнадзор) осуществляет контроль за порядком организации осуществления медико-социальной экспертизы; порядком установления степени утраты

профессиональной трудоспособности в результате несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний и др.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) — государственный санитарноэпидемиологический надзор за соблюдением санитарного законодательства; организует деятельность системы санитарно-эпидемиологической службы РФ. В федеральном законе “О пожарной безопасности” (1994) определяются общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в России, дается регулирование отношений между органами государственной власти, органами местного самоуправления, предприятиями, организациями, крестьянскими хозяйствами и иными юридическими лицами независимо от форм собственности. Федеральный закон “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” (1997) определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности организаций к локализации последствий аварий.

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



Табл. 5.2 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Применение стали, подходящей под технологический процесс</p> <p>С2. Увеличение глубины переработки нефти.</p> <p>С3. Уменьшение вредного воздействия на окружающую среду.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Сложность в изготовлении.</p> <p>Сл2. Сложность монтажа.</p> <p>Сл3. Необходимость регулярного обслуживания аппарата.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Возможность более глубокой переработки нефти.</p> <p>В2. Возможность уменьшения количества отходов производства.</p> <p>В3. Возможность создания новых рабочих мест.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>1. Появление аппаратов нового поколения.</p> <p>2. Меньшее воздействие на окружающую среду, как следствие улучшение экологической ситуации вблизи НПЗ.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>1. Для изготовления применяют специальное оборудование и используют его специально обученные люди, следовательно, проблем с производством не возникнет.</p> <p>2. Наличие дополнительного спроса на результаты расчетов также позволит устранить главные недостатки проекта.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Возможен низкий спрос на результаты исследования или его отсутствие в виду наличия старых аппаратов.</p> <p>У2. Вероятность наличия аналогичных разработок подобных аппаратов у конкурентов.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>1. При низком спросе есть возможность выхода с данным аппаратом на международный рынок.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>1. Проведение аналогичных расчетов конкурирующими фирмами вкупе с перечисленными слабыми сторонами проекта, способны довольно сильно повлиять на ход разработки аппарата, однако вовлечение иностранных инвесторов и сторонних компаний, заинтересованных в разработке данного проекта, а также актуальность, способны предотвратить все негативные последствия.</p>

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества проектируемого аппарата преобладают над его недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

## 5.2 Морфологический анализ

Морфологический анализ основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерности строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при обычном переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Морфологическая матрица для исследуемого проекта представлена в табл. 4.3.

Табл. 5.3 - Морфологическая матрица для ректификационной колонны

Наименование переменной	1	2	3	4
А. Принцип организации системы	Система простых колонн	Сложная колонна	-	-
Б. Тип массообменного элемента	Колпачковая тарелка	Насадка	Тарелка клапанного типа	Ситчатая тарелка
В. Использование рециклов	С рециклом	Без рецикла	-	-
Г. Тип колонны	Царговая	Цельнометаллическая	-	-
Д. Давление	Атмосферное	Избыточное	Вакуум	-

В связи с поставленным техническим заданием и особенностями технологического процесса, наиболее желательным функционально-конкретным решением с позиции ресурсосбережения будет: А2Б2В1Г2Д2.

## 5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

### 5.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ, представлена на рис. 4.1. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.



Рис. 5.1 – Иерархическая структура работ

### 5.3.2 План проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Линейный график представлен в табл. 5.4.

Табл. 5.4 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2018	3.02.2018	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2018	5.02.2018	Руководитель
3	Выбор проекта	5	5.02.2018	10.02.2018	Руководитель, инженер
4	Подбор и изучение материалов по теме	2	10.02.2018	12.02.2018	Инженер
5	Календарное планирование работ	1	12.02.2018	13.02.2018	Руководитель, инженер

6	Ознакомление с выбранным аппаратом	10	13.02.2018	23.02.2018	Инженер
7	Ознакомление с методиками расчета аппарата	5	23.02.2018	28.02.2018	Инженер
8	Изучение программы MathCAD	25	28.02.2018	24.03.2018	Инженер
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	17	24.03.2018	10.04.2018	Инженер
10	Обобщение и оценка результатов	6	10.04.2018	16.04.2018	Руководитель, инженер
11	Составление пояснительной записки	72	14.02.2018	25.04.2018	Инженер
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	26.04.2018	27.04.2018	Руководитель, инженер
13	Подготовка к защите	29	27.04.2018	25.05.2018	Инженер

В табл. 5.5 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Табл. 5.5 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнитель	Т <sub>к</sub> , кал.дн	Продолжительность выполнения работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка технического задания	Руководитель	2	1	2	3											
2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	1	2	3											
3	Выбор направления исследования	Руководитель, студент	5	1	2	3											



Часовая производительность колонны стабилизации составляет:

$$P_{\text{час}} = 4 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Эффективное время оборудования определяется по формуле:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{н}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}$$

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

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

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

$$T_{\text{эфф}} = 8640 - 360 - 0 = 8280 \text{ ч}$$

Таким образом, годовая производственная мощность равна:

$$M = 4,0 * 8240 * 1 = 33120 \text{ м}^3$$

## 5.5 Планирование себестоимости продукции

Для определения плановой себестоимости продукции необходимо составить калькуляцию себестоимости на единицу продукции и на годовой ее выпуск (табл. 5.6).

Табл. 5.6 – Калькуляция себестоимости 1 м<sup>3</sup> продукции.

№ п/п	Статьи затрат	Ед. изм.	Затраты на единицу готовой продукции, руб.	Затраты на весь объем, руб.
1	Сырье	Руб.	820	27158400
2	Электроэнергия на технологические нужды	Руб.	0,01556434	515,4909408
3	Заработная плата производственных рабочих	Руб.	2,1365	70761,656
3.1	Отчисления на соц. Нужды производственных рабочих (30 %)	Руб.	0,726	2405,896
Итого переменных издержек		Руб.	822,224	27232083,04
4	Общепроизводственные накладные расходы	Руб.	9,164	303530,84

4.1	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования		
Амортизация оборудования	Руб.	1,0346	34268,665
Ремонт оборудования	Руб.	1,546	51235,725
Заработная плата ремонтного персонала	Руб.	0,964	31943,154
Отчисление на соц. Нужды ремонтного персонала (30 %)	Руб.	0,0327	1086,0672
Итоги постоянных издержек	Руб.	3,578	118533,611
Цеховая (производственная) себестоимость	Руб.	825,803	27350616,66

## 5.6 Финансовый план

Цель финансового плана – определение эффективности предлагаемого проекта на основе оценки текущей финансовой информации.

$$Ц = 825,804 * 1,25 = 1032,254$$

## 5.7 План доходов и расходов

Данный план (табл. 5.7) отражает доходы, расходы и все виды налогов. Является прогнозом финансовых результатов производства.

Точка безубыточности в денежном выражении – такая минимальная величина дохода, при которой полностью окупаются все издержки (прибыль при этом равна нулю).

Точка безубыточности в единицах продукции – такое минимальное количество продукции, при котором доход от реализации этой продукции полностью перекрывает все издержки на ее производство.

Цель анализа – определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. Это означает, что выручка от реализации продукции (В) должна быть равна общим затратам на производство и реализацию этой продукции.

Табл. 5.7 – План доходов и расходов

Наименование показателя	Годы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Объем продаж	24840	33120	33120	33120	33120	33120	33120	33120
Цена 1 м <sup>3</sup>	1032,25 4							
Выручка от реализации	256412 03,11	341882 70,83						
Суммарные издержки	205425 95,89	273506 16,66						
Переменные издержки	204240 62,28	273320 83,04						
Постоянные издержки	118533, 6118							
Амортизация здания	10280	10280	10280	10280	10280	10280	10280	10280
Амортизация оборудования	34268,6 6							
Прибыль до вычета налогов	514315 5,89	688220 2,84						
Налог на прибыль	102863 1,177	137644 0,568						
Чистая прибыль	411452 4,71	550576 2,27						

## 5.8 Проведение анализа безубыточности инженерного проекта

Точка безубыточности – минимальный объем производства и реализации продукции, при котором расходы будут компенсированы доходами, а при производстве и реализации каждой последующей единицы продукции предприятие начинает получать прибыль. Точку безубыточности можно определять в единицах продукции, в денежном эквиваленте или с учетом ожидаемого размера прибыли.

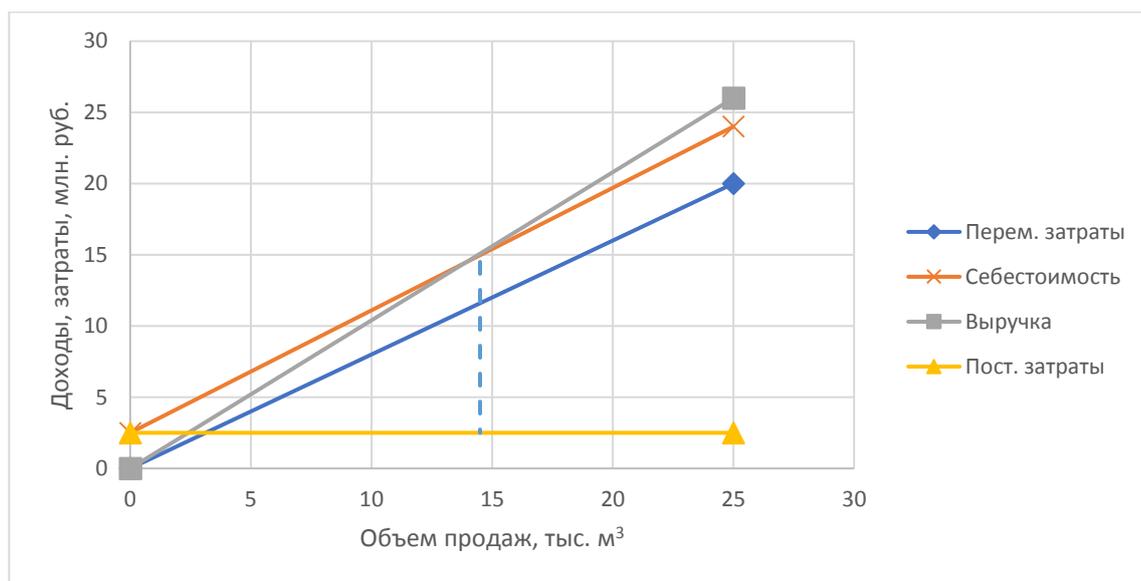


Рис.5.2 - График нахождения точки безубыточности при годовом выпуске стабильного катализатора

## 5.9 Оценка эффективности инвестиционного проекта

Оценка эффективности предлагаемого проекта может быть проведена с помощью нескольких показателей:

- Чистая текущая стоимость (ЧДД);
- Индекс доходности (ИД);
- Внутренняя норма доходности (ВНД);
- Срок окупаемости ( $T_{ок}$ );

## 5.10 Определение потребности в инвестициях

Табл. 5.8 – Потребность в основных фондах

Наименование объекта	Ед. изм.	Величина
Приобретение оборудования и других основных средств	Руб.	6500000
Затраты на оборотные средства	Руб.	27158400
Всего инвестиций	Руб.	33658400

Табл. 5.9 – Данные для оценки эффективности проекта по годам

Наименование показателя	Годы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Чистая прибыль	414125 24,71	550576 2,27	550576 2,27	550576 2,27	550576 2,27	550576 2,27	550576 2,27	550576 2,27
Амортизация	44548,6 6532	44548,6 6532	44548,6 6532	44548,6 6532	44548,6 6532	44548,6 6532	44548,6 6532	44548,6 6532
Чистый денежный поток от операционной деятельности	415907 3,37	553031 0,94	553031 0,94	553031 0,94	553031 0,94	553031 0,94	553031 0,94	553031 0,94
Ставка дисконтирования	0,909	0,826	0,751	0,683	0,620	0,564	0,513	0,466
Дисконтированный чистый поток	457498 0,711	671587 6,233	738746 3,856	812621 0,242	893883 1,266	983271 4,393	108159 85,83	132397 59,16
Дисконтированные инвестиции	305985 45,45	0	0	0	0	0	0	0
ЧДД	- 260235 64,74	- 193076 88,51	- 119202 24,65	- 379401 4,413	514481 6,854	983271 4,393	108159 85,83	132397 59,16

## 5.11 Чистая текущая стоимость (ЧДД)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то ЧДД определяется по формуле:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^n \frac{\text{ЧДП}_{on_t}}{(1+i)^t} + I_0 = 158191108,7$$

где  $\text{ЧДП}_{on_t}$  – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

t – номер шага расчета ( $t = 0, 1, 2, \dots, n$ );

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием эффективности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства:  $\text{ЧДД} > 0$ ;  $158191108,7 > 0$  – условие выполняется.

Чем больше ЧДД, тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект и на экономическую ценность этого предприятия.

## 5.12 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (ИД)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле:

$$\text{ИД} = \sum_{t=1}^n \frac{\text{ЧДП}_t}{I_0} = 2,2$$

где  $I_0$  – первоначальные инвестиции.

Условием эффективности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение  $\text{ИД} > 1$ ;  $2,2 > 1$  – условие выполняется.

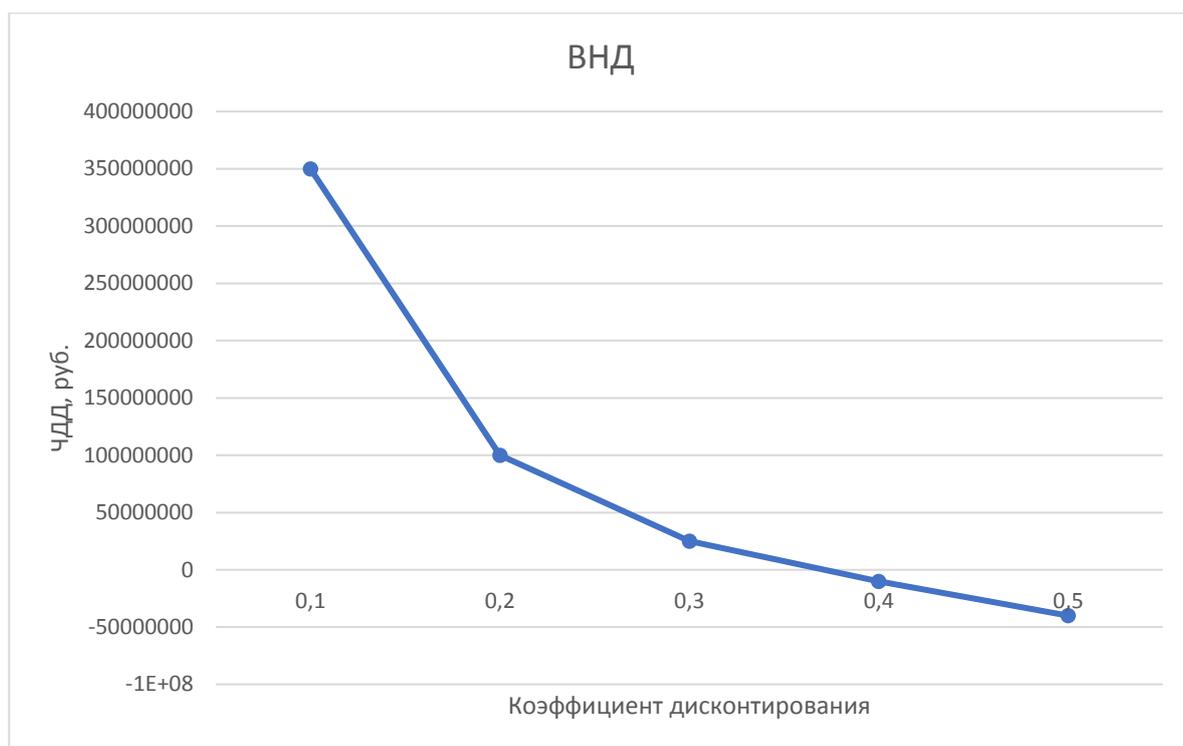


Рис. 5.3 – Зависимость ЧДД от ставки дисконтирования

Значение ставки, при которой ЧДД обращается в ноль, носит название «внутренней ставки доходности». Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных оттоков или ЧДД = 0. По разности между ВНД и ставкой дисконтирования  $i$  можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта, чем ближе ВНД к ставке дисконтирования  $n$ , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

### 5.13 Срок окупаемости инвестиций

Метод расчета срока окупаемости инвестиций  $T_{\text{окуп}}$ , состоит в определении того периода, через который первоначальные инвестиции будут возвращены прибылью или чистыми денежными поступлениями. Этот метод ориентирован на краткосрочную оценку, рассматривает, как скоро инвестированный проект окупит себя. Чем быстрее проект окупит первоначальные затраты, тем он эффективнее. Использование данного показателя предполагает установление приемлемого значения срока окупаемости как меры оценки эффективности инвестиций.

Чем больше нужна ликвидность инвестору, тем короче должен быть срок окупаемости.

Существует два подхода к расчету срока окупаемости. Первый заключается в том, что сумма первоначальных инвестиций делится на величину годовых поступлений (чистой прибыли):

$$T = \frac{I_0}{\text{ЧДП}} = 6,06 \text{ лет}$$

где  $I_0$  – первоначальные инвестиции;

ЧДП – чистый денежный поток от операционной деятельности.

Данный подход применяется в тех случаях, когда величины чистых денежных поступлений примерно равны по годам.

					Финансовый менеджмент	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104

## **Заключение**

В ходе выполнения работы был произведен технологический, механический, конструктивный и гидравлический расчет аппарата. В ходе технологического расчета определили основные геометрические параметры аппарата. В ходе механического расчета был проведен расчет толщины стенок обечайки и днищ, расчет фланцевого соединения, расчет весовых характеристик колонны, расчет штуцеров, расчет на ветровую нагрузку.

В разделе «Социальная ответственность» провел анализ вредных и опасных факторов, связанных с работой на данном аппарате. Так же обосновал мероприятия по снижению вредного воздействия этих факторов на организм человека и окружающую среду.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была проведена оценка рентабельности проекта, проанализированы сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности.

## Список использованной литературы

1. Татаевский В.М. Физико-химические свойства индивидуальных углеводов. – М.:Гостоптехиздат, 1960. – 412 с.
2. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
3. Гусев П.В. Проектирование ректификационных колонн. – Т.: ТПУ, 2008. – 62 с.
4. ГОСТ Р 52857.1 – 2007 Общие требования.
5. ГОСТ Р 52857.2 – 2007 Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ.
6. ГОСТ Р 52857.3 – 2007 Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек при внутренних статических нагрузках.
7. ГОСТ Р 52857.4 – 2007 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
8. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчет химической аппаратуры. Справочник. – М.: Альянс, 2008. – 752 с.
9. ГОСТ Р 51274 – 99 Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.
10. АТК 24.200.04-90 Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и размеры.
11. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
12. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
13. ГОСТ 12.1.002-84 «Электрические поля промышленной частоты».
14. ГОСТ 17677-82 Светильники. Общие технические условия.
15. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
16. СанПиН 2.2.1/2.1.11278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
17. ГОСТ 12.1.003-83 Шум. Общие требования безопасности.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
				<u>Документация</u>			
			ФЮРА.УОЛФ.000.000 РПЗ	Пояснительная записка	1		
			ФЮРА.УОЛФ.000.000 ВО	Вид общий	1		
			ФЮРА.УОЛФ.000.000 СТ	Схема технологическая	1		
			ФЮРА.УОЛФ.000.000 ТЭП	Технико-экономические			
				показатели	1		
				<u>Сборочные единицы</u>			
		1	ФЮРА.УОЛФ.000.001	Крышка эллиптическая	2		
		2	ФЮРА.УОЛФ.000.002	Обечайка цилиндрическая	1		
		3	ФЮРА.УОЛФ.000.003	Тарелка колпачковая	30		
		4	ФЮРА.УОЛФ.000.004	Крепление тарелки	120		
		5	ФЮРА.УОЛФ.000.005	Штуцер 100x5	2		
		6	ФЮРА.УОЛФ.000.006	Штуцер 50x5	2		
		7	ФЮРА.УОЛФ.000.007	Штуцер 50x5	1		
		8	ФЮРА.УОЛФ.000.008	Штуцер 50x5	1		
		9	ФЮРА.УОЛФ.000.009	Опора цилиндрическая	1		
				<u>Стандартные изделия</u>			
		10		Фланец 1-1000-1,0 ГОСТ 28759.2-90	4		
		11		Фланец 1-100-1,0 ГОСТ 28759.2-90	2		
		12		Фланец 1-50-1,0 ГОСТ 28759.2-90	4		
			<b>ФЮРА.УОЛФ.000.000 ВО</b>				
			Лист.	№ докум.	Подп.	Дата.	
Инв. № подл.	Разраб.	Ильинский Н.Е.					
	Пров.	Семакина О.К					
	Н.контр.						
	Утв.						
<b>Колонна ректификационная</b>			Лит.	Лист	Листов		
			Д	1	2		
			<b>НИ ТПУ ИШНПТ Группа 4К41</b>				

