

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Проектирование колонны ректификации нефти</b>

УДК 66.048.3-025.13:665.633

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Консультант по разделу «Механический расчет оборудования»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2019 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

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

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

--

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

Студенту:

Группа	ФИО

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
Срок сдачи студентом выполненной работы:	

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>							
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Раздел</th> <th>Консультант</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		Раздел	Консультант				
Раздел	Консультант						
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>							

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата

**Запланированные результаты обучения по ООП 18.03.02 выпуска 2019 г.**

код результат	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО,

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

## РЕФЕРАТ

НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА, МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, УПН-100, РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА, ПРОВЕРОЧНЫЙ РАЧЕТ.

В дипломном проекте рассчитана ректификационная колонна К-2, предназначенная для разделения отбензиненной нефти и входящая в установку переработки нефти УПН-100. Приведены расчеты основных технологических и конструктивных показателей аппарата.

Произведен технологический и конструктивно-механический расчет проектируемой колонны. Произведен анализ экономических эффектов данного производства, рассмотрен вариант увеличения производительности аппарата на 20% на существующем оборудовании. Определены вредные и опасные производственные факторы, переложены способы снижения негативного воздействия на организм человека.

Дипломный проект содержит расчетно-пояснительную записку из 100 страниц текста, 36 таблиц, 6 рисунков, 40 литературных источников и графическую часть из 4 листов формата А1.

## ABSTRACT

### OIL REFINING, MECHANICAL CALCULATION, UPN-100, DISTILLATION COLUMN, TESTING RACE.

The diploma project is designed distillation column K-2, designed to separate the topped oil and included in the oil refining unit UPN-100. Calculations of the main technological and design parameters of the device are given. The technological and structural-mechanical calculation of the designed column is made. The analysis of economic effects of this production is made, the variant of increase of productivity of the device by 20% on the existing equipment is considered. Harmful and dangerous production factors are defined, ways of reduction of negative impact on a human body are shifted. The diploma project contains a settlement and explanatory note from 100 pages of text, 36 tables, 6 figures, 40 literary sources and a graphic part of 4 sheets of A1 format.

## СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ .....	5
СОДЕРЖАНИЕ .....	7
ВВЕДЕНИЕ .....	9
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	10
1.1 Принципы первичной переработки нефти .....	10
1.2 Технологическая схема установок ЭЛОУ АТ .....	13
1.3 Характеристика исходных веществ и продуктов .....	14
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	17
2.1 Цели и задачи проекта .....	17
2.2 Общее направление модернизации .....	17
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	19
3.1 Описание действующей установки .....	19
3.2 Технологический расчет колонны К-2 .....	21
3.2.1 Материальный баланс процесса .....	21
3.2.2 Тепловой баланс колонны предварительного испарения .....	29
3.2.3 Расчет конструктивных размеров колонны К-2 .....	41
3.3 Механический расчет колонны .....	45
3.3.1 Выбор конструкционных материалов .....	45
3.3.2 Выбор расчетного давления .....	46
3.3.3 Расчет толщин стенок обечаек аппарата .....	46
3.3.4 Расчет укрепления отверстий .....	48
3.3.5 Поверочный расчет оборудования .....	52
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	63
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА .....	63
4.1 Предпроектный анализ. Анализ рынка. Основные потребители и конкуренты .....	65
4.2 Проведение SWOT-анализа .....	66

4.3 Проведение экономических расчетов .....	67
4.3.1 Организация труда и расчет заработной платы .....	67
4.2.2 Расчёт фонда заработной платы рабочих .....	70
4.3.3 Обоснование производственной мощности .....	72
4.3.4 Расчет себестоимости продукции и основных показателей.....	73
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	79
ЗАДАНИЕДЛЯРАЗДЕЛА .....	79
5.1 Вредные и опасные факторы технологического процесса .....	81
5.2 Пожарная безопасность на предприятии.....	83
5.3 Защита окружающей среды .....	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	90
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	94
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	100
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	101

## ВВЕДЕНИЕ

В представленном проекте рассматривается установка первичной переработки нефти, которая является одной из самых мощных в нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Продуктами установок первичной переработки нефти являются прямогонные бензины, керосины, дизельные и котельные топлива. Указанные продукты являются полупродуктами, а также сырьем для установки вторичной переработки нефти.

Целью российской нефтеперерабатывающей промышленности является увеличение глубины переработки нефти, а следовательно и увеличение выработки светлых нефтепродуктов.

Актуальность темы дипломного проекта заключается в том, что в современной промышленности происходит постоянное совершенствование технологий получения топлив. Но стоит отметить, что и на установках, действующих на данный момент, существуют резервы, которые позволяют снизить удельные затраты энергии, материалов, жидкого и газообразного топлива, и, как следствие, – позволяет снизить себестоимость продуктов переработки нефти. Предметом настоящей дипломной работы является поиск решений по повышению производительности установки УПН-100.

Цель дипломного проекта заключается проектировании ректификационной установки для выделения низкокипящей фракции нефти.

В рамках поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить технологическую схему установки;
- провести материальный и тепловой расчет колонны К-2, предназначенной для перегонки отбензиненной нефти;
- определить геометрические параметры колонного аппарата;
- провести механические и прочностные расчеты;
- рассчитать технико-экономические показатели дипломного проекта;
- рассмотреть меры по охране труда и снижению негативного экологического воздействия при работе установки.

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1 Принципы первичной переработки нефти

Добываемая из скважин нефть представляет собой сложную многокомпонентную смесь, основными компонентами которой выступают парафиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды, а также ряд других веществ. Нефть при переработке на целевые нефтепродукты разделяется на ключевые фракции и группы углеводородов. Также в процессе переработки происходит изменение химического состава исходной нефти [1, с.12].

Методы переработки нефти подразделяются на первичные и вторичные. К первичным относятся процессы фракционного разделения нефти посредством перегонки, к вторичным – процессы химической (деструктивной) переработки (крекинг, риформинг и т.п.) нефти и очистки получаемых нефтепродуктов. Перегонка нефти может быть произведена по схеме однократного и многократного испарения. При перегонке с однократным испарением пары нагреваемой смеси при нагревании остаются в соприкосновении с жидкой фазой. По мере достижения заданной конечной температуры жидкая и паровая фаза разделяется в один прием, то есть однократно. К примерам однократного испарения, в частности, относится нагревание и испарения сырья в печах. Исходный нефтепродукт нагревается в трубчатой печи, при этом в змеевике он частично испаряется, после чего сырье направляется в колонну-испаритель, в которой производится однократное разделение образовавшихся паров от жидкой фазы. Важно отметить, что данный способ в настоящее время не применяется в крупных НПЗ вследствие неудовлетворительной четкости разделения погонов [27].

К более технологичным и эффективным способам первичной переработки нефти относится ректификация. Под ректификацией понимается процесс разделения неоднородных смесей жидких компоненты высокой степени чистоты, либо различающиеся по температуре кипения фракции.

Физическая сущность протекающих при ректификации процессов заключается в двухстороннем массо- и теплообмене между потоками жидкой фазы и пара в условиях значительной турбулизации контактирующих фаз.

Пары разделяемой смеси, выделяющиеся в результате массообмена обогащаются низкокипящими компонентами, а жидкость, соответственно, высококипящими. При определенном количестве контактов между жидкостью и парами можно получить пары, в основном состоящие из низкокипящих компонентов. Жидкость же будет состоять из высококипящих компонентов.

Таким образом, в ректификационном аппарате непрерывно протекают процессы испарения и конденсации. При ступенчатой ректификации контакт жидкости и пара может происходить в прямотоке, в противотоке и в перекрестном токе. При непрерывной ректификации во всем объеме колонны, контакт жидкости и пара при движении обеих фаз происходит только в противотоке.

В большинстве действующих установок ректификация протекает нечетко. Получаемые компоненты светлых и масляных дистиллятов не соответствуют требуемому фракционному составу, наблюдается налегание фракций, часть наиболее тяжелых фракций по мере подъема по высоте колонны конденсируется и под действием силы тяжести поступает в нижнюю (кубовую) часть колонны [29, с. 114].

Перегонка необессоленной нефти проводится по схеме однократного испарения следующим образом (рис. 1.1) [1, с. 27].

Нагретая в теплообменнике 2 горячими потоками сырая нефть направляется в электродегидратор 3. Обессоленная нефть оттуда насосом 1 через теплообменник 4 подается в печь 5, после чего – в ректификационную колонну 6, где протекает ее однократное испарение и разделение на необходимые фракции.

При переработке обессоленной нефти в схемах установок отсутствуют электродегидраторы [1, 38].

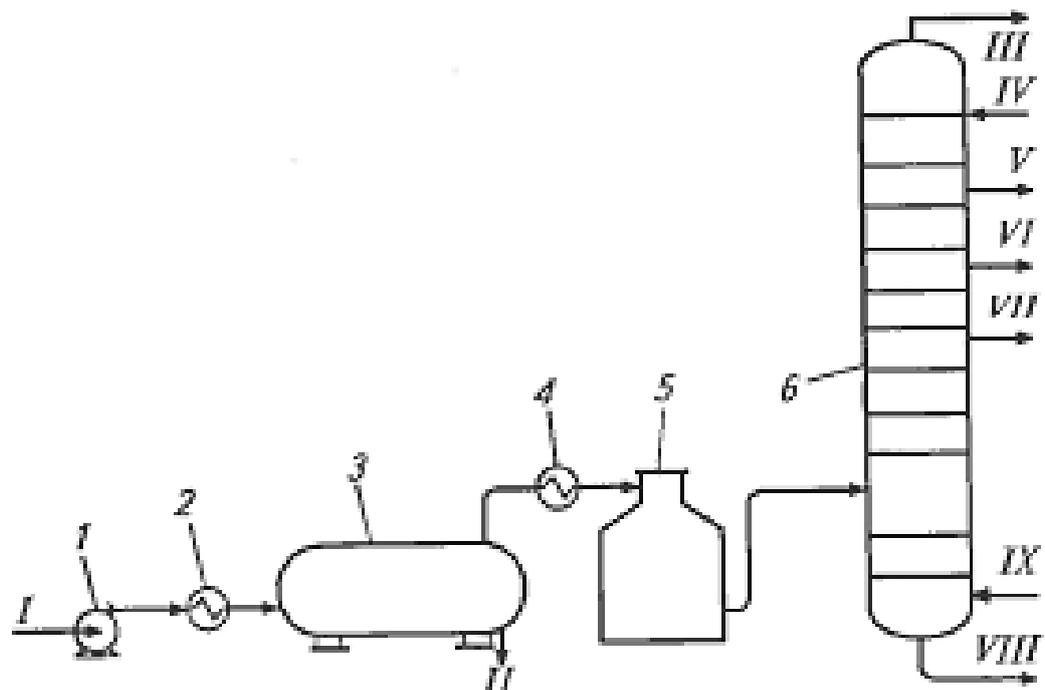


Рис.1.1. Перегонка нефти по схеме однократного испарения [1]:

7 -сырьевой насос; 2, 4-теплообменники; 3 – электродегидратор; 5 – печь; 6 – ректификационная колонна;

I – сырая нефть, II – вода и соли; III – парогазовая смесь; IV- орошение; V- VII – компоненты светлых нефтепродуктов; VIII- мазут; IX- водяной пар

При значительном содержании в нефти низкокипящих фракций и растворенного газа, весьма затрудняется ее переработка по схеме однократного испарения, так как в питательном насосе и всех расположенных на схеме до печи аппаратах создается повышенное давление.

Также возрастает нагрузка на печь и ректификационную колонну. В связи с ростом масштаба переработки сернистых и загазованных нефтей находит все большее распространение перегонка нефти по схеме двукратного испарения – в двух ректификационных колоннах [39, с. 32].

Эффективность процесса вакуумной перегонки мазута, как и перегонки нефти, зависит как от параметров технологического режима, так и от конструктивных особенностей отдельных узлов блока: печи, трансферной линии, узла ввода сырья, конструкции тарелок, насадок и пр.

## 1.2 Технологическая схема установок ЭЛОУ АТ

Современные ректификационные аппараты классифицируются в зависимости от их технологического назначения, давления, способа осуществления контакта между паром и жидкостью и внутреннего устройства, обеспечивающего этот контакт. По технологическому назначению на современных комбинированных установках АВТ ректификационные аппараты делятся на колонны атмосферной перегонки нефти, вакуумной перегонки мазута, стабилизации легких фракций, абсорбции жирных газов переработки нефти, вторичной перегонки широкой бензиновой фракции и др. По проводимому процессу различают следующие ректификационные колонны: атмосферные, вакуумные, стабилизаторы и др. В зависимости от давления колонны делятся на вакуумные, атмосферные и работающие под давлением. В качестве контактного устройства в колоннах применяют тарелки. Часто эти колонны именуется тарельчатыми. По способу контакта между паром (газом) и жидкостью все ректификационные аппараты на установках первичной перегонки нефти характеризуются непрерывной подачей обеих фаз [1, с.52].

На конструкцию ректификационной колонны оказывают влияние технологические особенности: система подачи сырья, отвод боковых жидких потоков, подача орошений, пара и др.

Типовая схема работы атмосферной ректификационной колонны состоит в следующем. Нагретое до 340-350 °С сырье (в основном в парожидкостном состоянии) поступает в среднюю часть колонны. Сверху отбирается парогазовая смесь – продукт, обогащенный низкокипящими компонентами и содержащий водяной пар. В средней части с соответствующих тарелок отбирают боковые флегмы – компоненты светлых нефтепродуктов, а снизу остаток – мазут, обогащенный высококипящими компонентами. Часть колонны, расположенная выше ввода сырья, называется концентрационной, либо укрепляющей, а расположенная ниже ввода сырья, – отгонной, либо

исчерпывающей. Верхняя тарелка отгонной части колонны, на которую поступает сырье, обычно называется тарелкой питания.

Для ректификации многокомпонентных смесей на установках АТ и АВТ применяется ректификационная колонна, состоящая фактически из нескольких отдельно работающих колонн (по числу отбираемых фракций). Сырьем для каждой последующей колонны может служить дистиллят, либо остаток предыдущей колонны. Такие колонны весьма сложны, так как кроме верхнего и нижнего продуктов (бензин и мазут) в них получают несколько боковых погон: лигроин, керосин, дизельное топливо. Каждый боковой погон, отводимый из колонны, отправляется в свою отпарную колонну, где отпариваются легкие фракции, направляемые затем обратно в основную колонну [1, 38]. Отпарные колонны конструктивно выполнены в одном корпусе, но отделены друг от друга глухой перегородкой. В отпарных колоннах создается орошение водяным паром, который снижает парциальное давление нефтяных паров и способствует их испарению.

Недостаток сложной колонны – наличие при одном верхнем орошении различных паровых и жидкостных нагрузок в разных сечениях. В связи с этим в каждой секции весьма целесообразно создание самостоятельного циркулирующего орошения. Атмосферные и вакуумные колонны с промежуточным циркуляционным орошением широко применяются. Так, запроектированные Гипроаз-нефтью высокопроизводительные установки АВТ различной модификации (типа А-12/4, А-12/5, А-12/5м, А-12/6, А-12/7, А-12/9, А-12/9В, А-12/10В и др.) оборудованы сложными колоннами с циркулирующим промежуточным орошением [39, с. 44].

### **1.3 Характеристика исходных веществ и продуктов**

Состав продуктов, получаемых на установках первичной перегонки нефти, может быть различным, что зависит от состава подаваемой нефти, варианта ее переработки и особых требований к топливным фракциям.

Непосредственно выход топливных фракций зависит от содержания целевых фракций в поступающей нефти. Рассмотрим направления использования продуктов первичной перегонки нефти и мазута.

Углеводородный газ состоит в основном из пропана и бутана. Пропан-бутановая фракция используется как сырье газодифракционирующей установки для выделения из нее индивидуальных углеводородов, получения бытового топлива. В зависимости от технологического режима и аппаратного оформления первичной перегонки нефти пропан-бутановая фракция может получаться в сжиженном, либо газообразном состоянии [1].

Бензиновая фракция н.к. – 180 °С используется как сырье установки вторичной перегонки бензинов (вторичной ректификации).

Керосиновая фракция 120-240 °С после очистки, либо облагораживания используется как реактивное топливо; фракция 150-300 °С – как осветительный керосин, либо компонент дизельного топлива.

Фракция дизельного топлива 180-350 °С после очистки используется в качестве дизельного топлива; возможно получение компонентов легкого (зимнего) и тяжелого (летнего) дизельного топлива соответствующего фракционного состава, к примеру 180-240 и 240-350 °С.

Фракция 200-220 °С парафинистых нефтей используется как сырье для производства жидких парафинов – основы для получения синтетических моющих средств [38, 39].

Атмосферный газойль 330-360 °С – затемненный продукт, получается на установке АВТ, работающей по топливному варианту; используется в смеси с вакуумным газойлем в качестве сырья установки каталитического крекинга.

Мазут – остаток первичной перегонки нефти; облегченный мазут (> 330 °С) может использоваться в качестве котельного топлива, утяжеленный мазут (> 360 °С) – как сырье для последующей переработки на масляные фракции до гудрона. В настоящее время мазут может использоваться также как сырье установок каталитического крекинга, либо гидрокрекинга (ранее применялся в качестве сырья установок термического крекинга).

Широкая масляная фракция (вакуумный газойль) 350-500°, либо 350-550°C используется как сырье установки каталитического крекинга и гидрокрекинга.

Узкие масляные фракции 350-400, 400-450 и 450-500 °C после соответствующей очистки от сернистых соединений, полициклических ароматических и нормальных парафиновых углеводородов используются для производства смазочных масел.

Остаток из куба колонны атмосферой перегонки – мазут, может быть направлен на дальнейшую ректификацию под вакуумом или отправлен в резервуарный парк для последующей продажи потребителю.

Выход топливных и масляных фракций зависит в первую очередь от состава нефти, т. е. от потенциального содержания целевых фракций в нефтях.

## **2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **2.1 Цели и задачи проекта**

Целью данного дипломного проекта является проведение поверочного технологического и механического расчета атмосферной разгонной колонны К-2, входящей в технологическую линию УПН-100.

Основными задачами дипломного проектирования, решаемыми в рамках поставленной цели, являются:

- описание технологической схемы производства;
- проектирование основных агрегатов рассматриваемого производства;
- проведение материальных и тепловых расчетов;
- проведение механических расчетов.

Колонна К-2 предназначена для выделения керосиновой (верхний погон) и дизельной фракции (боковой погон) из отбензиненной нефти.

Объектом исследования в рамках данного дипломного проекта выступает применение современных программных средств при проектировании типовых химико-технологических аппаратов по стандартным методикам.

Предметом исследования в рамках данного дипломного проекта выступает применение современных программных средств на примере проектирования ректификационной колонны К-2 УПН-100 и расчета вариантов повышения производительности установки.

### **2.2 Общее направление модернизации**

В настоящее время перед НПЗ остро стоит проблема повышения производительности и эффективности работы ректификационных колонн и установок перегонки нефти в целом.

В рамках проводимых в последние годы работ по реконструкции тарельчатых ректификационных колонн одним из наиболее распространенных

мероприятий является замена тарельчатых контактных устройств на более эффективные, как правило, насадочные элементы.

Также производятся работы по совершенствованию конструкции ректификационных тарелок. Повышение КПД клапанных тарелок и снижение величин перепада рабочих давлений в широком диапазоне нагрузок может быть достигнуто, например, в результате отгиба передней кромки клапана вниз на некоторый угол. Также рост эффективности работы может быть достигнут посредством синхронизации работы клапанов и упрощения изготовления тарелки за счет уменьшения ограничителей подъема. Конструкции ситчатых тарелок для повышения производительности на 20...50% модернизируют, перфорируя поверхность под сливным стаканом, повышая тем самым рабочую площадь устройства [2].

## 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 3.1 Описание действующей установки

В рамках данного дипломного проекта произведен проверочных расчет ректификационной колонны К-2, входящей в состав установки переработки нефти УПН-100 и предназначенной для разделения отбензиненной нефти. Общая схема установки приведена на рис. 3.1 [1].

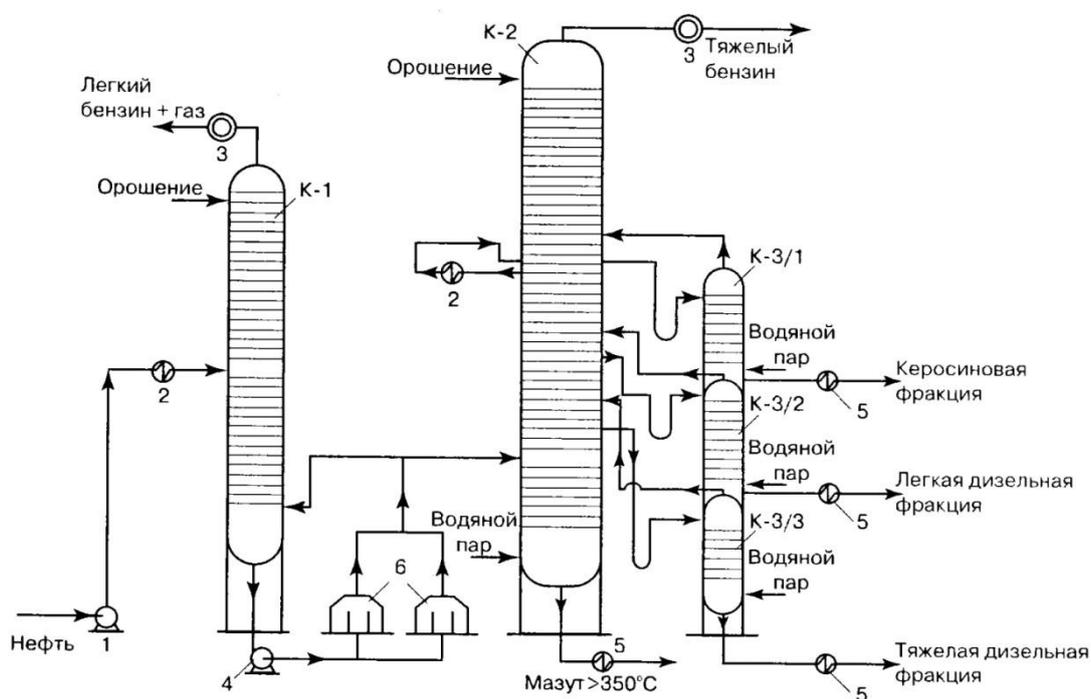


Рис. 3.1 – Схема перегонки нефти на УПН-100 с двукратным испарением:  
1 – насос подачи сырья; 2 теплообменник; 3 – холодильник-конденсатор;  
4 – насос горячих продуктов; 5 – холодильник; 6 – печь.

Технологический процесс УПН-100А, УПН-100Б состоит из следующих основных стадий:

- подготовка (обессоливание и обезвоживание) нефти в блоке ЭЛОУ;
- ректификация нефти методом атмосферной перегонки (АТ) с получением смешанной бензиновой фракции, легкой (особо легкой) и тяжелой (особо тяжелой) дистиллятных фракций, фракции мазута.

Из печи нагрева поз. П-1 отбензиненная нефть в виде парожидкостной смеси по трансферному трубопроводу поступает в питательную секцию основной атмосферной колонны поз. К-2, расположенную между тарелками 30 и 31. Для улучшения отгона легких фракций от мазута в куб колонны поз. К-2 подается перегретый водяной пар.

Пары верха колонны поз. К-2 с температурой 115 – 125°С поступают на конденсацию в воздушный конденсатор-холодильник поз. КХ-2.

Далее охлажденный до 50 – 60°С продукт направляется в горизонтальный сепаратор поз. С-2 (не указан), где происходит его разделение на тяжелую бензиновую фракцию, углеводородные газы и воду.

Тяжелая бензиновая фракция из сепаратора поз. С-2 подается насосом поз. Н322 в две нагнетательные линии: первая – орошение колонны поз. К-2 (подается на первую тарелку), вторая – откачка избыточного количества тяжелой бензиновой фракции на склад. Далее трубопровод смешанной бензиновой фракции с температурой 30 °С следует в резервуарный парк.

Легкая дистиллятная фракция с температурой 210 – 220 °С из колонны поз. К-2, отбираемая с накопительной тарелки между тарелками 18 и 19, насосом поз. Н323, последовательно подается в теплообменники поз. Т321/1, Т321/2, Т303/2, Т303/1, где она охлаждается потоком нефти до 80 – 90°С, и затем разделяется на две линии: первая – циркуляционное орошение колонны поз. К-2 с предварительным охлаждением в первой и второй секциях аппарата воздушного охлаждения поз. ХВ-3 до температуры 40°С, вторая – откачка избыточного количества легкой дистиллятной фракции в резервуарный парк.

Тяжелая дистиллятная фракция с температурой 320 – 330°С из колонны поз. К-2, отбираемая с тарелки 25, проходит последовательно теплообменник поз. Т301/3, охлаждаясь потоком нефти до 110 – 120°С, аппарат воздушного охлаждения поз. ХВ302/2, где она дополнительно охлаждается до 60°С, и поступает на всас насоса поз. Н325.

Насосом поз.Н325 тяжелая дистиллятная фракция с температурой 60°С откачивается в резервуарный парк.

Мазут из куба колонны поз. К-2 с температурой 330 – 340 °С поступает последовательно в теплообменники поз. Т305/3, Т305/2, нагревая своим теплом поток нефти.

Далее мазут с температурой 220 – 230°С насосом поз. Н324 подается в два нагнетательных трубопровода: первый проходит последовательно через теплообменники поз. Т322, Т304, Т305/1, Т302/2, где он нагревает поток нефти, второй – через теплообменники поз. Т306/2 и Т306/1, где он нагревает поток химически очищенной воды. Затем данные трубопроводы объединяются, и мазут с температурой 90 °С одной линией откачивается в резервуарный парк.

## **3.2 Технологический расчет колонны К-2**

### **3.2.1 Материальный баланс процесса**

Согласно заданию на проектирование необходимо рассчитать и спроектировать стабилизационную колонну установки УПН-100 производительностью  $100 \pm 20\%$  тыс. тонн в год[27].

При фонде рабочего времени 335 суток определим часовую производительность установки:

$$G_{\text{час}} = \frac{G_{\text{год}}}{t} \quad (3.1)$$

где  $G_{\text{год}}$  – годовая производительность установки УПН-100, т/год,

$t$  – фонд рабочего времени установки, час.

$$G_{\text{час}} = \frac{100000}{335 \cdot 24} = 11,737 \text{ т/час}$$

Разгонка нефти на УПН-100 приведена в таблице 3.1.

Производительность колонны К-2 при выходе бензиновой фракции из колонны К-1 в размере 35,5% масс. составит:

$$G_{K-2} = 11,737 \cdot \frac{(100 - 35,48)}{100} = 7,573 \text{ т/час}$$

Таблица 3.1 – Разгонка нефти на УПН-100

Сырье и продукты	Выход на нефть, %
<b>Приход</b>	
Нефть	100
<b>Итого:</b>	100
<b>Расход</b>	
Газ (до 50)	2,00
Бензин нк-150	12,50
Керосин 150-250	14,50
Диз.топ.250-350	17,00
Вакуумный газойль	18,00
Гудрон (450 – 520)	34,50
Потери	1,50
Итого	100,00

Исходные данные для расчета колонны К-2 приведены в таблице 3.2. Рабочее давление равно 0,215 МПа, рабочая температура составляет 374 °С.

Таблица 3.2 – Исходные данные к расчету установки

Параметр	Значение
Содержание фракции 140 – 320 (360) °С, % масс:	
в дистилляте	98
в кубовом остатке	0,5
Температура сырья, °С	335÷375
Температура бензино-керосиновой фракции	175÷200
Температура дизельной фракции (боковой погон)	300
Давление, МПа:	
верха	0,08÷0,11
низа	0,09÷0,11

В колонну К-2, как следует из технологического регламента, поступает отбензиненная нефть. Массовые и мольные расходы отдельных фракций в колонне К-2 в соответствии с молекулярными массами приведены в табл. 3.3.

В дальнейших расчетах используем данные о фракциях от газа УВ до масляных дистиллятов 470-500. Так как гудрон в процессе ректификации не отгоняется, то при расчете флегмового числа его концентрация не учитывается.

Сырьем К-2 служит остаток, выходящий из колонны К-1. Состав остатка с учетом мазута приведен в таблице 3.3[25, 28].

Таблица 3.3 – Состав кубового остатка колонны К-1

Фракция	$X'_{wi}$ , масс. %
НК-85	0,03
85-120	0,91
120-180	11,64
180-240	14,92
240-300	9,44
300-350	6,76
350-450	11,27
470-500	3,95
Остаток	41,07
Итого	100,0000

Относительную плотность компонента  $\rho_{15}^{15}$  определяем через молекулярную массу по формуле Крэга:

$$\rho_{15}^{15} = \frac{1,03M_i}{44,29 + M_i} \quad (3.2)$$

Пересчет массовых долей в мольные ведём по формуле:

$$X'_i = \frac{X_i / M_i}{\sum_{i=1}^n (X_i / M_i)} \quad (3.3)$$

Расчет ведем с помощью MS Excel. Результаты расчётов физико-химических свойств сырья колонны К-2 приведены в табл.3.4. Средняя молекулярная масса сырья рассчитываются по правилу аддитивности [8]:

$$M_\partial = \sum_1^n (M_i \cdot X'_F) \quad (3.4)$$

$$M_\partial = \sum_1^n (M_i \cdot X'_F) = 247,5497 \text{ кг/кмоль}$$

В таблице 3.4 приведен состав отбензиненной нефти без учета неотгоняемых фракций (гудрона), выход которого из К-1 УПВ-100 составил 26,5% или 26,5 тыс. тонн/год. Так как в технологическом регламенте принято, что подаваемая в колонну К-2 стабильная нефть делится на две крупные

фракции н.к. – 350 и 350-остаток, то для упрощения расчетов мы можем рассматривать подаваемую на ректификацию смесь как двухкомпонентную.

Таблица 3.4 – Характеристика фракций отбензиненной нефти

Фракция	$X_i$ , % масс.	$X'_i$ , % мольн	$t_{ср}$ , °C	$\rho_{15}^{15}$ , г/мл	$M_i$ , кг/ кмоль	$X_i / M_i$	$X_i \cdot M_i$	$X'_i \cdot \rho_i$
НК-85	0,03	0,10	56,50	0,630	69,72	0,0004	0,0205	0,001
85-120	0,91	2,52	102,50	0,686	88,35	0,0103	2,2231	0,017
120-180	11,64	25,30	150,00	0,738	112,03	0,1039	28,3407	0,187
180-240	14,92	24,47	210,00	0,793	148,39	0,1005	36,3152	0,194
240-300	9,44	11,97	270,00	0,837	191,95	0,0492	22,9767	0,100
300-350	6,76	6,91	325,00	0,869	238,21	0,0284	16,4508	0,060
350-450	11,27	8,53	410,00	0,905	321,59	0,0350	27,4228	0,077
470-500	3,95	2,36	485,00	0,929	407,17	0,0097	9,6238	0,022
Остаток	41,07	17,84	600,00	0,955	560,23	0,0733	99,9650	0,170
Итого	100,000	100,0000				0,4109	243,3386	0,828

Проведём расчет методом температурной границы деления смеси.

Определяем мольный отбор дистиллята  $E'$  по отношению к сырью:

$$E' = \frac{D'}{F'}, \quad (3.5)$$

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

Также справедлива формула:

$$E' = \frac{\sum X'_{i,D}}{100}, \quad (3.6)$$

Принимаем  $E'$  равным отношению суммы мольных расходов первых фракций, которые должны пойти в дистиллят и молярной производительности колонны К-2.

$$E' = (0,10 + 2,52 + 25,30 + 24,47 + 11,97 + 6,91) / 100 = 0,71266$$

Степень извлечения этой фракции в остаток  $\varphi_{W3}$  составит:

$$\varphi_{W2} = 1 - \varphi_{D2} \quad (3.7)$$

$$\varphi_{W2} = 1 - 0,90 = 0,10$$

Рассчитываем мольное содержание данной фракции в дистилляте и в остатке колонного аппарата К-2:

$$X'_{D6} = \frac{\varphi_D \cdot X'_{F6}}{E'} \quad (3.8)$$

$$X'_{D7} = \frac{0,9 \cdot 6,9062 / 100}{0,71266} = 0,087$$

$$X'_{W6} = \frac{\varphi_{W6} \cdot X'_{F6}}{1 - E'} = \frac{(1 - \varphi_{D6}) \cdot X'_{F6}}{1 - E'} \quad (3.9)$$

$$X'_{W3} = \frac{0,1 \cdot 6,9062 / 100}{1 - 0,71266} = 0,02403$$

Рассчитываем коэффициент распределения  $\psi_i$  этой фракции:

$$\Psi_6 = \frac{X'_{D6}}{X'_{W6}} \quad (3.10)$$

$$\Psi_7 = \frac{0,087}{0,02403} = 3,6288$$

Определяем температурную границу деления смеси. Для колонны К-2 ключевыми фракциями являются седьмая и восьмая фракции. При среднем давлении в колонне  $P_{cp}$  находим температуры кипения этих фракций –  $T_7$  и  $T_8$  по уравнению Ашворта.

Значения вспомогательной функции от рабочей температуры  $f(T)$  и средних температур выкипания узких фракций  $f(T_{cp})$  найдем по формуле [36]:

$$f(T_0) = \frac{1250}{\sqrt{T_0^2 + 108000} - 307,6} - 1, \quad (3.11)$$

где  $T_0$  – средняя температура кипения фракции при атмосферном давлении, К

Далее вычисляем параметр  $f(T)$  для ключевых фракций по формуле:

$$f(T) = f(T_0) \left(1 - \frac{\lg P_{cp}}{2,68}\right), \quad (3.12)$$

где  $P_{cp}$  – среднее давление в колонне, 1,0 атм.

Температура фракций определяется по уравнению [36, с. 16]:

$$T = \sqrt{\left(\frac{1250}{f(T) + 1} + 307,6\right)^2 - 108000}, \text{ К} \quad (3.13)$$

Температура верха колонны должна быть такой, чтобы выполнялось равенство для мольных долей всех фракций:  $\sum X_i = 1$ .

Определим температуру верха и низа в колонне. Результаты расчетов для всех фракций приведены в табл. 3.5. Истинная величина  $T_E$  находится между  $T_6$  и  $T_7$  и определяется методом подбора такого её значения, которое удовлетворяет следующим условиям  $\sum_{i=1}^n X'_{Di} = 1$  и  $\sum_{i=1}^n X'_{Wi} = 1$ .

Таблица 3.5 – Результаты расчета параметра  $f(T_0)$

Фракция	$f(T_0)$	$f(T)$	$T_i, K$	$T_i, ^\circ C$
НК-85	6,923	6,923	329,50	56,50
85-120	5,531	5,531	375,50	102,50
120-180	4,481	4,481	423,00	150,00
180-240	3,519	3,519	483,00	210,00
240-300	2,821	2,821	543,00	270,00
300-350	2,336	2,336	598,00	325,00
350-450	1,776	1,776	683,00	410,00
470-500	1,410	1,410	758,00	485,00
Остаток	0,999	0,999	873,00	600,00

Рассчитываем при температуре  $T_E = 624,68 K = 351,68 ^\circ C$  коэффициенты относительной летучести  $\alpha_i$  всех фракций:

$$\alpha_i = \frac{P_i}{P_{cp}}; \quad (3.14)$$

где  $P_i$  – давление насыщенных паров фракции определяем по уравнению Ашворта при температуре  $T_E$ , атм.:

$$\lg P_i = 2,68 \cdot \left(1 - \frac{f(T_E)}{f(T_0)}\right); \quad (3.15)$$

Отсюда находим:

$$P_i = 10^{2,68 \cdot \left(1 - \frac{f(T_E)}{f(T_0)}\right)}; \quad (3.16)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 3.6.

Минимальное число теоретических тарелок в К-2 составит:

$$N_{\min} = \frac{\lg \Psi_3}{\lg \alpha_3} \quad (3.17)$$

$$N_{\min} = \lg(3,6288) / \lg(1,682) = 2,4786$$

Таблица 3.6 – Результаты определения летучести фракций при  $T_E$

Фракция	$\lg P_i$	$P_i$ , ат	$P_i$ , кПа	$K_i$
НК-85	1,852	71,130	7019,923	71,130
85-120	1,644	44,022	4344,619	44,022
120-180	1,401	25,170	2484,112	25,170
180-240	1,051	11,253	1110,578	11,253
240-300	0,648	4,451	439,292	4,451
300–350	0,226	1,682	166,006	1,682
350–450	-0,548	0,283	27,940	0,283
470–500	-1,384	0,041	4,078	0,041
Остаток	-3,056	0,001	0,087	0,001

Находим коэффициенты распределения всех фракций  $\Psi_i$  :

$$\Psi_i = \alpha_i^{N \min} \quad (3.18)$$

Рассчитываем составы дистиллята и остатка по формулам:

$$X'_{Di} = \frac{X'_{Fi} \cdot \Psi_i}{1 + E'(\Psi_i - 1)} \quad (3.19)$$

$$X'_{wi} = \frac{X'_{Fi}}{1 + E'(\Psi_i - 1)} \quad (3.20)$$

При верном подборе  $T_E$  выполняются условия  $\sum_{i=1}^n X'_{Di} = 1$   $\sum_{i=1}^n X'_{wi} = 1$ .

Результаты расчета составов дистиллята и остатка, проведенного при помощи MS Excel, представлены в табл. 3.7.

Как видно из табл. 3.7, условия выполняются, следовательно, материальный баланс составлен верно, а все коэффициенты определены с высокой степенью точности (до 4 знака после запятой).

Подберем значение:

$$T_E = 624,68 \text{ К} = 351,68^\circ\text{C}, \text{ тогда } f(T_E) = 2,139.$$

В таблице 3.8 приведем рассчитанный в предыдущих разделах материальный баланс колонны К-2. Проведем проверку правильности расчета:

$$W + D = F \quad (3.21)$$

По количеству вещества и массе продуктов:

$$22,174 + 8,940 = 31,114 \text{ кмоль/ч и } 3334,286 + 4238,587 = 7572,873 \text{ кг/ч}$$

Таблица 3.7 – Состав дистиллята и остатка

№	$t_{cp}$	$P_i$	$\alpha_i$	$\Psi_i$	$X'_{Di}$	$X'_{Wi}$
НК-85	56,50	7019,923	71,130	38945,513	0,0014	0,0000
85-120	102,50	4344,619	44,022	11856,842	0,0353	0,0000
120-180	150,00	2484,112	25,170	2966,319	0,3549	0,0001
180-240	210,00	1110,578	11,253	403,321	0,3431	0,0009
240-300	270,00	439,292	4,451	40,484	0,1663	0,0041
300-350	325,00	166,006	1,682	3,629	0,0872	0,0240
350-450	410,00	27,940	0,283	0,044	0,0117	0,2677
470-500	485,00	4,078	0,041	0,000	0,0000	0,0822
Остаток	600,00	0,087	0,001	0,000	0,0000	0,6210
					1,0000	1,0000

Таблица 3.8 – Материальный баланс колонны К-2

ФРАКЦИЯ	СЫРЬЁ			
	$x, \% \text{ масс.}$	$F, \text{ кг/ч}$	$x', \% \text{ мольн.}$	$F'_i, \text{ кмоль/ч}$
НК-85	0,029	2,231	0,103	0,032
85-120	0,913	69,169	2,516	0,783
120-180	11,644	881,80	25,297	7,871
180-240	14,921	1129,92	24,473	7,615
240-300	9,440	714,90	11,970	3,724
300-350	6,759	511,85	6,906	2,149
350-450	11,267	853,24	8,527	2,653
470-500	3,954	299,44	2,364	0,735
Остаток	41,072	3110,33	17,844	5,552
Итого	<b>100,000</b>	<b>7572,873</b>	<b>100,000</b>	<b>31,114</b>
ФРАКЦИЯ	ДИСТИЛЛЯТ			
	$x, \% \text{ масс.}$	$D, \text{ кг/ч}$	$x', \% \text{ мольн.}$	$D', \text{ кмоль/ч}$
НК-85	0,067	2,23	0,144	0,032
85-120	2,074	69,17	3,531	0,783
120-180	26,443	881,68	35,493	7,870
180-240	33,854	1128,79	34,306	7,607
240-300	21,229	707,85	16,631	3,688
300-350	13,816	460,67	8,720	1,934
350-450	2,508	83,63	1,173	0,260
470-500	0,008	0,28	0,003	0,001
Остаток	0,000	0,00	0,000	0,000
Итого	<b>100,000</b>	<b>3334,286</b>	<b>100,000</b>	<b>22,174</b>
ФРАКЦИЯ	ОСТАТОК			
	$x, \% \text{ масс.}$	$W, \text{ кг/ч}$	$x', \% \text{ мольн.}$	$W', \text{ кмоль/ч}$
НК-85	0,000	0,00	0,000	0,000
85-120	0,000	0,00	0,000	0,000
120-180	0,003	0,12	0,012	0,001
180-240	0,027	1,13	0,085	0,008
240-300	0,166	7,05	0,411	0,037
300-350	1,208	51,19	2,408	0,215
350-450	18,157	769,61	26,768	2,393
470-500	7,058	299,16	8,218	0,735
Остаток	73,381	3110,33	62,098	5,552
Итого	<b>100,000</b>	<b>4238,587</b>	<b>100,00</b>	<b>8,940</b>

Невязка баланса:

$$\Delta = \frac{x_0 - x_{расч}}{x_0} \cdot 100\% \quad (3.22)$$

$$\Delta = \frac{7572,873 - 7572,873}{7572,873} \cdot 100\% \approx 0\%$$

Таким образом, из проведенных вычислений можно заключить, что материальный баланс рассчитан верно.

### 3.2.2 Тепловой баланс колонны предварительного испарения

Для расчета теплового баланса колонны необходимо знать флегмовое число для данной смеси в указанных условиях.

Средняя молекулярная масса дистиллята[37, 38]:

$$M_d = \sum_1^n (M_i \cdot X'_{Di}) \quad (3.23)$$

Относительная плотность дистиллята:

$$\rho_{20d}^{20} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{X_{Di}}{\rho_i}} \quad (3.24)$$

Средняя молекулярная масса остатка:

$$M_w = \sum_1^n (M_i \cdot X'_{wi}) \quad (3.25)$$

Относительная плотность остатка:

$$\rho_{15w}^{15} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{X_{wi}}{\rho_i}} \quad (3.26)$$

Данные по дистилляту и остатку сведем в таблицу 3.9.

В результате получили:

Средняя молекулярная масса дистиллята:

$$M_d = 150,37 \text{ кг/кмоль} \quad (3.27)$$

Относительная плотность дистиллята:

$$\rho_{20d}^{20} = \frac{1}{1,2568} = 0,7956 \text{ кг/м}^3 \quad (3.28)$$

Таблица 3.9 – Плотности и молекулярные массы дистиллята и остатка

ФРАКЦИЯ	$M_i X'_{Di}$	$X'_{Di} / \rho_i$	$M_i X'_{Wi}$	$X'_{Wi} / \rho_i$
газ УВ	0,1006	0,0011	0,0000	0,0000
НК-85	3,1193	0,0302	0,0003	0,0000
85-120	39,7624	0,3582	0,0134	0,0000
120-180	50,9066	0,4268	0,1262	0,0003
180-240	31,9230	0,2537	0,7885	0,0020
240-300	20,7754	0,1591	5,7251	0,0139
300-350	3,7714	0,0277	86,0817	0,2006
350-470	0,0124	0,0001	33,4614	0,0760
470-500	0,0000	0,0000	347,8926	0,7688
$\Sigma$	1,5037	1,2568	4,7409	1,0616

Средняя молекулярная масса остатка:

$$M_w = 474,09 \text{ кг/кмоль} \quad (3.29)$$

Относительная плотность остатка:

$$\rho_{15w}^{15} = \frac{1}{1,0616} = 0,9420 \text{ кг/м}^3 \quad (3.30)$$

Температура верха  $T_{\text{верха}}$  рассчитывается как температура конденсации насыщенных паров дистиллята на выходе из колонны, при которой [10, с.82]:

$$\sum \frac{X'_D}{\alpha_i} = 1 \quad (3.31)$$

$$\alpha_i = P_i / P_{\text{верха}}, \quad (3.32)$$

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

$P_{\text{верха}}$  – давление вверху колонны, примем равным 0,95 атм.

Расчеты сведем в таблицы 3.10-3.11.

Таблица 3.11 – Расчёт температуры верха колонны

ФРАКЦИЯ	$P_i$	$\alpha_i$	$\sum X'_D / \alpha_i$
газ УВ	39,0228	41,0766	0,0000
НК-85	20,7642	21,8571	0,0016
85-120	9,9559	10,4799	0,0339
120-180	3,4543	3,6361	0,0943
180-240	1,0203	1,0740	0,1549
240-300	0,2838	0,2987	0,2920
300-350	0,0273	0,0287	0,4088
350-470	0,0022	0,0023	0,0134
470-500	0,0000	0,0000	0,0011
$\Sigma$			1,0000

Отсюда находим:  $T_{\text{верха}} = 543,92 \text{ K} = 270,92^\circ\text{C}$ .

Температура низа  $T_{\text{низа}}$  колонны рассчитывается как температура кипения остатка, при которой справедливо:

$$\sum X'_w \cdot \alpha_i = 1 \quad (3.33)$$

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

$P_{\text{низа}}$  – давление вверху колонны, примем 1,05 атм. по заданию к проекту.

Таблица 3.12 – Расчёт температуры низа колонны

ФРАКЦИЯ	$P_i$	$\alpha_i$	$\sum X'_b \cdot \alpha_i$
газ УВ	123,785	117,89035	0,0000
НК-85	88,0737	83,879686	0,0002
85-120	59,241	56,419955	0,0068
120-180	33,4662	31,872569	0,0271
180-240	17,3329	16,507485	0,0678
240-300	8,69089	8,2770363	0,1989
300-350	2,45513	2,3382218	0,6259
350-470	0,62694	0,5970817	0,0491
470-500	0,04086	0,0389125	0,0242
$\Sigma$			1,0000

Отсюда находим:  $T_{\text{низа}} = 733,975 \text{ K} = 460,975^\circ\text{C}$ .

Расчет доли отгона производим по методу А.М. Трегубова [36, с. 19].

Путём последовательного приближения подбираем такое значение мольной доли отгона сырья  $e'$ , при котором выполняется тождество 3.41.

$$\sum \frac{c'_i}{1 + e' \left( \frac{P_i}{P_{\text{вх}}} - 1 \right)} = \sum x'_i = 1 \quad (3.34)$$

$e'$  – мольная доля отгона;

$c_i$  – массовая доля отдельных фракций в отбензиненной нефти;

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

$M_i$  – молекулярный вес отдельных фракций;

$P_{\text{вх}}$  – абсолютное давление в зоне питания, примем его равным среднему давлению в колонне 1,0 атм.;

$P_i$  – давление насыщенных паров отдельных фракций при температуре ввода сырья, по уравнению Антверта;

Произведем расчет температуры ввода сырья, ориентируясь на заданную мольную долю отгона с целью уменьшения числа рабочих тарелок в колонне

$e' = 0,8$  определяя по уравнениям 2.43 и Ашворта соответствующие значения парциальных давлений, варьируя значения температуры смеси.

Искомая температура:  $T_{\text{ввода}} = 702,28 \text{ К} = 429,28^\circ\text{С}$ .

Таблица 3.13 – Расчёт температуры ввода сырья

ФРАКЦИЯ	$P_i$ , ат	$\alpha_i$	$\frac{c'_i}{1 + e' \left( \frac{P_i}{P_{ax}} - 1 \right)}$
НК-85	107,8030	107,8030	0,0000
85-120	74,0797	74,0797	0,0004
120-180	47,8487	47,8487	0,0066
180-240	25,4978	25,4978	0,0119
240-300	12,3469	12,3469	0,0119
300-350	5,7691	5,7691	0,0143
350-450	1,4322	1,4322	0,0634
470-500	0,3181	0,3181	0,0520
Остаток	0,0157	0,0157	0,8395
$\Sigma$	$e =$	0,8	1,0000

Минимальное флегмовое число  $R_{\min}$  определяется по уравнениям Андервуда:

$$\sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{Fi}}{\alpha_i - \Theta} = 1 - q \quad (3.35)$$

$$\sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{Di}}{\alpha_i - \Theta} = R_{\min} + 1 \quad (3.36)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент относительной летучести по отношению к ключевому компоненту

$$\alpha_i = \frac{P_i}{P_k} \quad (3.37)$$

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

$P_k$  – давление насыщенных паров ключевого компонента (пропана);

$\Theta$  – корень уравнения Андервуда, обычно его величина находится между значениями  $\alpha_i$  ключевых компонентов.

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

$$q = \frac{Q}{Q_{\text{исп}}} \quad (3.38)$$

Сырьё вводится в виде парожидкостной смеси, поэтому в нашем случае:

$0 < e' < 1$  и  $1 - q = e'$ , где  $e'$  – мольная доля, равная 0,8.

$$\sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{Fi}}{\alpha_i - \Theta} = 0,8$$

Методом подбора находим из первого уравнения Андервуда корень  $\Theta$ , подставляем его во второе уравнение и определяем  $R_{\min}$ .

Таблица 3.14 – К расчету минимального флегмового числа

Фракция	$\alpha_i \cdot X'_{Fi}$	$\alpha_i - \Theta$	$\frac{\alpha_i \cdot X'_{Fi}}{\alpha_i - \Theta}$	$\Theta$	$\alpha_i \cdot X'_{Di}$	$\frac{\alpha_i \cdot X'_{Di}}{\alpha_i - \Theta}$
газ УВ	0.111	70.719	0.002	0.4103	0.103	0.001
НК-85	1.864	43.612	0.043	0.410	1.554	0.036
85-120	12.105	24.760	0.489	0.410	8.934	0.361
120-180	6.240	10.843	0.576	0.410	3.860	0.356
180-240	1.478	4.041	0.366	0.410	0.740	0.183
240-300	0.398	1.272	0.313	0.410	0.147	0.115
300-350	0.122	-0.127	-0.960	0.410	0.003	-0.026
350-470	0.008	-0.369	-0.020	0.410	0.000	0.000
470-500	0.003	-0.409	-0.007	0.410	0.000	0.000
Сумма			0.800			1.026

Приведём расчёт оптимального флегмового числа.

Найдём минимальное флегмовое число:

$$R_{\min} = \sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{Di}}{\alpha_i - \Theta} - 1 = 1,026 - 1 = 0,026$$

Приведём расчёт оптимального флегмового числа графическим способом  
Джиллиленда

а) Задаёмся коэффициентом избытка флегмы  $\sigma_i = (1, 0 \dots 2, 4)$ .

б) Рассчитываем флегмовые числа:

$$R_i = \sigma_i \cdot R_{\min} \quad (3.39)$$

в) Находим параметр  $X_i$ :

$$X_i = \frac{R_i - R_{\min}}{R_i + 1} \quad (3.40)$$

г) Находим параметр  $Y_i$ :

$$Y_i = 1 - \exp \left[ \left( \frac{1 + 54,4 \cdot X_i}{11 + 117,2 \cdot X_i} \right) \left( \frac{X_i - 1}{\sqrt{X_i}} \right) \right] \quad (3.41)$$

Расчёты проведены с помощью табличного процессора MS Excel и приведены в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Расчёт параметров  $R_{\text{опт}}$  и  $N_{\text{опт}}$

$\sigma_i$	$R_i$	$x_i$	$y_i$	$N_i$	$N_i(R_i+1)$
1	0,026	0,00	-	-	-
1,1	0,029	0,00	0,86	24,35	25,06
1,2	0,032	0,01	0,78	15,11	15,59
1,3	0,034	0,01	0,74	12,42	12,85
1,4	0,037	0,01	0,71	11,14	11,56
1,5	0,040	0,01	0,69	10,39	10,80
1,6	0,042	0,02	0,68	9,90	10,31
1,7	0,045	0,02	0,67	9,54	9,97
1,8	0,047	0,02	0,66	9,27	9,71
1,9	0,050	0,02	0,65	9,06	9,51
2	0,053	0,03	0,65	8,88	9,35
2,1	0,055	0,03	0,64	8,74	9,22
2,2	0,058	0,03	0,64	8,61	9,11
2,3	0,061	0,03	0,63	8,49	9,01
2,4	0,063	0,03	0,63	8,39	8,92

д) Находим число теоретических тарелок  $N$  из уравнения:

$$N_i = \frac{Y_i + N_{\min}}{1 - Y_i} \quad (3.42)$$

е) Находим величину:

$$N_i(R_i+1) \quad (3.43)$$

ж) Строим график  $N_i(R_i+1)=f(R_i)$ . График зависимости параметра  $N_i(R_i+1)$  от флегмового числа приведен на рис. 3.1.

Минимум на полученной кривой соответствует искомым параметрам:

$$R_{\text{опт}} = 0,063; N_{\text{опт}} = 8,39; \sigma_{\text{опт}} = 2,4.$$

Определяем минимальное число теоретических тарелок в концентрационной части колонны ( $N_{\min}^{\text{конц}}$ )

$$N_{\min}^{\text{конц}} = \frac{\lg\left(\frac{X'_{D6} \cdot X'_{F7}}{X'_{F6} \cdot X'_{D7}}\right)}{\lg \frac{\alpha_6}{\alpha_7}}, \quad (3.44)$$

где  $\alpha_3$  и  $\alpha_4$  – коэффициенты относительной летучести ключевых компонентов (фракций 3 и 4) при температуре ввода сырья (табл. 3.5).

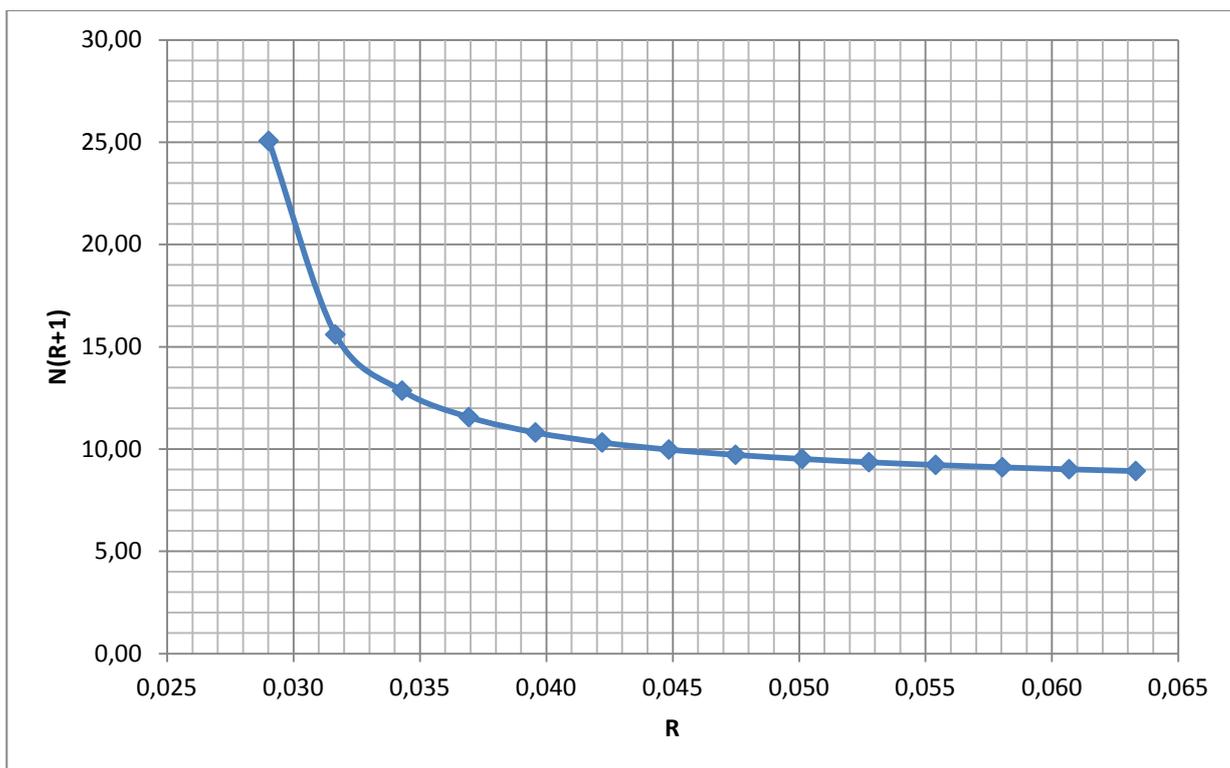


Рис.3.1. График зависимости параметра  $N_i(R_i+1)$  от флегмового числа

$$N_{\min}^{\text{конц}} = \frac{\lg\left(\frac{8,722 \cdot 8,527}{6,906 \cdot 1,173}\right)}{\lg \frac{1,682}{0,283}} = 1,244$$

Оптимальное число теоретических тарелок в верхней части колонны:

$$N_{\text{опт}}^{\text{конц}} = \frac{N_{\min}^{\text{конц}} \cdot N_{\text{опт}}}{N_{\min}} \quad (3.45)$$

$$N_{\text{опт}}^{\text{конц}} = \frac{1,244 \cdot 8,39}{2,478} = 4,21 \approx 6$$

Рабочее число тарелок в колонне:

$$N_{\text{раб}} = \frac{N_{\text{опг}}}{\eta_{\text{тарелок}}} \quad (3.46)$$

где  $\eta_{\text{тарелок}}$  – КПД тарелки, принимаемый равным  $0,55 \dots 0,75 = 0,6$ .

$$N_{\text{раб}} = \frac{8,39}{0,6} = 13,98 \approx 14 \text{ шт.}$$

Рабочее число тарелок в верхней части колонны

$$N_{\text{раб}}^{\text{конц}} = \frac{N_{\text{опг}}^{\text{конц}}}{\eta_{\text{тарелок}}} \quad (3.47)$$

$$N_{\text{раб}}^{\text{конц}} = \frac{4,21}{0,6} = 7,02 \approx 8 \text{ шт.}$$

В нижней, исчерпывающей части колонны, таким образом, будет:

$$N_{\text{раб}}^{\text{конц}} = 14 - 8 = 6 \text{ тарелок.}$$

На практике для ввода сырья предусматривают до 5 точек вблизи сечения, определённого по этим уравнениям.

В соответствии с паспортными данными на колонну К-2, количество клапанных тарелок в верхней секции составит 10 штук рабочих тарелок, что близко к полученному результату, а также одна тарелка для отвода боковых погоньев дизельной фракции. В нижней части с учетом секции питания, тарелок для отвода боковых погоньев и технологического запаса для переработки других сортов нефти предусмотрено 24 клапанных тарелки[37].

Уравнение теплового баланса колонны имеет вид:

$$Q_F + Q_B = Q_D + Q_W + Q_{\text{хол}} + Q_{\text{пот}} ,$$

**Ошибка! Закладка не определена.**

где  $Q_F$  – тепло, поступающее в колонну с сырьём, кВт;

$Q_B$  – тепло, подводимое в низ колонны, кВт;

$Q_D$  – тепло, отводимое из колонны с дистиллятом, кВт;

$Q_W$  – тепло, отводимое из колонны с остатком, кВт;

$Q_{\text{хол}}$  – тепло, отводимое в конденсаторе-холодильнике, кВт;

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

$$Q_F = F_{\text{ж}} \cdot i_{\text{Фж}} + F_{\text{п}} \cdot I_{\text{Фп}} \quad (3.48)$$

$$F_n = F \cdot e \quad (3.49)$$

$$F_{\text{ж}} = F' \cdot (1 - e)$$

**Ошибка! Закладка не определена.**

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

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

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

$e$  – массовая доля отгона сырья, составляющая:

$$e = e' \frac{M_y}{M_H} \quad (3.50)$$

где  $e'$  – мольная доля отгона, 0,8,

$M_y$  – средняя молекулярная масса паровой фазы, 74,02 г/моль (табл.3.7);

$M_H$  – средняя молекулярная масса сырья, 162,58 г/моль.

$$e = 0,8 \cdot \frac{150,37}{474,09} = 0,4944$$

$$Q_D = D \cdot i_{\text{хол}},$$

**Ошибка! Закладка не определена.**

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

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

$$Q_W = W \cdot i_W,$$

**Ошибка! Закладка не определена.**

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

$i_W$  – энтальпия остатка при температуре при температуре его отвода из колонны, кДж/кг;

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

**Ошибка! Закладка не определена.**

где  $L_{\text{ор}}$  – количество холодного орошения, подаваемого в колонну, кг/ч;

$I_D$  – энтальпия паров дистиллята при температуре верха колонны, кДж/кг.

$$L_{ор} = R_{опт} D \frac{I_D - i_{конд}}{I_D - i_{хол}} = R_{опт} D \frac{Q_{конд}}{I_D - i_{хол}},$$

**Ошибка! Закладка не определена.**

где  $R_{опт} = 0,063$  – оптимальное флегмовое число;

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

$Q_{конд}$  – теплота конденсации паров дистиллята.

Для легких фракций эту величину можно рассчитать по уравнению Крэга:

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

**Ошибка! Закладка не определена.**

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

В общем случае средняя молекулярная температура кипения смеси рассчитывается по формуле:

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

**Ошибка! Закладка не определена.**

где  $T_i$  – среднеарифметическая температура кипения узкой фракции смеси, К;

$x_i'$  – мольная доля узкой фракции в смеси.

В нашем случае средняя молекулярная температура кипения дистиллята определяется при помощи MSExcel в табл.3.13.

Относительную плотность жидкости в конденсаторе и плотность жидкого сырья при температуре в колонне определим по формуле Кусакова [36, с. 23]:

$$\rho = \rho_{288}^{288} - (t-20) \cdot 0,000897 \text{ г/см}^3 \quad (3.51)$$

где  $\alpha = 0,000897$  – температурная поправка по формуле Кусакова;

$\rho_{288}^{288}$  – средняя плотность подаваемого сырья,  $0,6151 \text{ г/см}^3$  (табл. 3.2);

$t$  – средняя температура в колонне,  $(460,975+270,92)/2 = 365,95 \text{ }^\circ\text{C}$  (табл. 3.5).

$$\rho = 0,6141 - (365,95-20) \cdot 0,000897 = 0,5585 \text{ г/см}^3$$

Таблица 3.16 – Термодинамические характеристики дистиллята

№	X <sub>D</sub> , доли ед.	T, °C	T, К	X <sub>D</sub> ·T
НК-85	0,0014	56,50	329,50	0,4756
85-120	0,0353	102,50	375,50	13,2574
120-180	0,3549	150,00	423,00	150,1338
180-240	0,3431	210,00	483,00	165,6978
240-300	0,1663	270,00	543,00	90,3056
300-350	0,0872	325,00	598,00	52,1556
350-450	0,0117	410,00	683,00	8,0099
470-500	0,0000	485,00	758,00	0,0232
Остаток	0,0000	600,00	873,00	0,0000
T <sub>ср.м.</sub>				480,0588

Примем температуру дистиллята после конденсатора-холодильника и, следовательно, температуру подачи орошения  $t_{\text{хол}} = 50^\circ\text{C}$ .

Энтальпии жидких нефтепродуктов при соответствующих температурах рассчитывали по уравнению Крэга (3.60).

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

**Закладка не определена.**

Энтальпии паров нефтепродуктов рассчитаем по уравнению Уэйра-Итона:

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

На основе рассчитанных ранее характеристик фаз определим энтальпии потоков. Расчет приведем в табличной форме (таблица 3.17).

Таблица 3.17 – Результаты расчета энтальпий потоков:

Фаза	t <sub>i</sub> , °C	T, К	ρ, кг/м <sup>3</sup>	I, кДж/кг
Сырье (жидкость), i <sub>F</sub>	351,68	624,68	0,828	884,60
Сырье (пар), I <sub>F</sub>	351,68	624,68	0,005	1462,98
Дистиллят (пар), I <sub>F</sub>	270,92	543,92	0,003	1198,02
Конденсатор (жидкость), i <sub>хол</sub>	50	323	0,796	100,04
Куб (жидкость), i <sub>W</sub>	460,975	733,975	0,942	1175,46

$$q_{\text{конд}} = \frac{1}{0,828} (354,1 - 0,3768 \cdot 480,059) = 209,09 \text{ кДж/кг.}$$

Количество холодного орошения:

$$L_{op} = 0,063 \cdot 3334,286 \cdot \frac{296,62}{1198,02 - 100,04} = 40,21 \text{ кг/ч}$$

Рассчитываем тепловые потоки для технологической установки.

Результаты представим в табличной форме (таблица 3.18).

Примем потери тепла в колонне  $x_{II} = 5\%$ :

$$Q_{nom} = (Q_D + Q_{ХОЛ} + Q_W) \cdot \frac{x}{100 - x} \quad \text{Ошибка! Закладка не определена.}$$

Тепло, необходимое подвести в низ колонны:

$$Q_{II} = (Q_D + Q_W + Q_{ХОЛ} + Q_{nom}) - Q_F \quad \text{Ошибка! Закладка не определена.}$$

Для перевода в кВт разделим полученные значения в кДж/ч на 3600.

Таблица 3.18 – Результаты расчета энтальпий потоков

Потоки тепла в К-2	Теплота, кВт
Поток $Q_F$ , кВт	8864275,19
Поток $Q_D$ , кВт	333564,01
Поток $Q_{ХОЛ}$ , кВт	3705136,33
Поток $Q_W$ , кВт	4982283,15
Поток $Q_{пот}$ , кВт	474788,60
Поток $Q_{II}$ , кВт	631496,91

Данные по тепловому балансу колонны сведем в таблицу 3.19.

Таблица 3.19 – Тепловой баланс колонны К-2

Поток	Температура, °С	Расход, кг/ч	Количество
			тепла, кВт
<b>ПРИХОД:</b>			
С отбензиненной нефтью			<b>2462,30</b>
<i>паровая фаза</i>	351,68	6058,30	1521,39
<i>жидкая фаза</i>	351,68	1514,57	940,91
В низ колонны			<b>175,42</b>
Итого		7572,87	2637,71
<b>РАСХОД:</b>			
Из верха колонны с дистиллятом	270,92	3334,29	92,66
Из куба колонны с остатком	460,98	4238,59	1383,97
<i>В конденсаторе</i>	50,00		1029,20
Потери			131,89
Итого			2637,71

Невязка баланса:

$$\Delta = \frac{\sum Q_0 - \sum Q_1}{\sum Q_0} \cdot 100\% \quad (3.52)$$

$$\Delta = \frac{2637,71 - 2637,71}{2637,71} \cdot 100\% \approx 0$$

Погрешность составила 0%, следовательно, тепловой баланс колонны К-2 для заданной производительности и сорта перерабатываемой нефти в установке УПН-100 составлен верно.

### 3.2.3 Расчет конструктивных размеров колонны К-2

Количество стекающей с тарелок верхней части колонны флегмы:

$$L_B = R_{\text{опт}} \cdot D \quad (3.53)$$

$$L_B = 0,063 \cdot 3334,29 = 211,13 \text{ кг/ч}$$

Количество паров, поднимающихся с тарелок верхней части колонны:

$$G_g = L_g + D \quad (3.54)$$

$$G_g = 211,13 + 3334,29 = 3545,42 \text{ кг/ч}$$

Объём паров равен:

$$V_g = \frac{22,4 \cdot G_g \cdot (273 + t_g) \cdot P_{\text{атм}}}{3600 \cdot M_g \cdot 273 \cdot P_g} \quad (3.55)$$

$$V_g = \frac{22,4 \cdot 3545,42 \cdot (273 + 270,92) \cdot 101333}{3600 \cdot 150,37 \cdot 273 \cdot 0,95 \cdot 101333} = 0,31 \text{ м}^3/\text{с}$$

Плотность паров:

$$\rho_n^g = \frac{G_g}{3600 \cdot V_g} \quad (3.56)$$

$$\rho_n^g = \frac{3545,42}{3600 \cdot 0,31} = 3,20 \text{ кг/м}^3$$

Относительная плотность жидкости:

$$\rho_{277}^{293} = \rho_{277}^{273+113,05} - (t - 20) \cdot \alpha$$

$$\rho_{277}^{293} = 0,7956 - (270,92 - 20) \cdot 0,000897 = 0,57057 \text{ г/см}^3$$

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

Абсолютная плотность жидкости  $\rho_{жс} = 570,57 \text{ кг/м}^3$ .

Объёмный расход жидкости:

$$L_{вг} = \frac{L_6}{\rho_{жс}} \quad (3.57)$$

$$L_{вг} = \frac{211,13}{570,57} = 0,37 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Количество флегмы, стекающей с тарелок нижней части колонны:

$$L_n = L_6 + F(1 - e) \quad (3.58)$$

где  $L_в$  – количество флегмы, стекающей с тарелок верхней части колонны (теоретическое количество):

$$L_n = 211,13 + 7572,87 \cdot (1 - 0,8) = 1725,71 \text{ кг/ч}$$

Количество паров, поднимающихся тарелках нижней части колонны:

$$G_n = L_n - W \quad (3.59)$$

$$G_n = 1725,71 - 4238,59 = -2512,88 \text{ кг/ч}$$

Таким образом, верхнее сечение является наиболее нагруженным.

Диаметр колонны рассчитывается по наиболее нагруженному сечению по парам. В нашем случае в верхней части колонны расход паровой фазы в верхней части колонны в несколько раз больше, чем в нижней, поэтому расчет ведем по ней. Примем к установке клапанные однопоточные тарелки.

Предполагаемый диаметр ректификационной атмосферной колонны данной производительности составляет 1,4 м, поэтому примем расстояние между тарелками 500 мм, как в исходном проекте, после чего рассчитаем диаметр колонны [36, 39].

Диаметр рассчитывается из уравнения расхода:

$$D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\Pi}}{3,14 \cdot W_{\max}}}, \quad (3.60)$$

где  $V_{\Pi}$  – объёмный расход паров, м<sup>3</sup>/с;

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

$$W_{\max} = 8,47 \cdot 10^{-5} \cdot C_{\max} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\Pi}}{\rho_{\Pi}}}, \quad (3.61)$$

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

$\rho_{\text{ж}}$  и  $\rho_{\Pi}$  – плотность жидкой и паровой фазы, кг/м<sup>3</sup>.

$$C_{\max} = K_1 \cdot K_2 \cdot C_1 - K_3(\lambda - 35) \quad (3.62)$$

Значение коэффициента  $C_1$  определяем по графику ([10, Прил. А]) в зависимости от принятого расстояния между тарелками  $C_1 = 1050$ .

Коэффициент  $K_3 = 4,0$  для клапанных тарелок.

Коэффициент  $\lambda$  находится по уравнению:

$$\lambda = \frac{0,655 \cdot L_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}} \sqrt{\frac{K_1 \cdot C_1}{V_{\Pi} \cdot 3600}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\Pi}}{\rho_{\Pi}}}, \quad (3.63)$$

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

Коэффициент  $K_1$  принимается в зависимости от конструкции тарелок и равен для клапанных тарелок 1,15.

Коэффициент  $K_2$  для атмосферной колонны равен 1,0.

$$\lambda = \frac{0,655 \cdot 211,13}{570,57} \sqrt{\frac{1,15 \cdot 1050}{0,31 \cdot 3600}} \sqrt{\frac{570,57 - 3,20}{3,20}} = 0,92$$

$$C_{\max} = 1,15 \cdot 1 \cdot 1050 - 4 \cdot (0,92 - 35) = 1343,81$$

$$W_{\max} = 8,47 \cdot 10^{-5} \cdot 1343,81 \cdot \sqrt{\frac{570,57 - 3,20}{3,20}} = 1,52 \text{ м/с}$$

Диаметр верхней части колонны:

$$D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,31}{3,14 \cdot 1,52}} = 1,02 \text{ м}$$

Полученный диаметр округляется в большую сторону паспортного значения колонны, равного 1,4 м (с учетом вариаций флегмового числа).

Проверяем скорость паров при принятом диаметре колонны:

$$W_{II} = \frac{4 \cdot V_{II}}{\pi \cdot D_K^2} \quad (3.64)$$

$$W_{II} = \frac{4 \cdot 0,31}{3,14 \cdot 1,4^2} = 0,199 \text{ м/с}$$

Скорость паров находится в допустимых пределах для колонн под давлением и расстоянии между тарелками 500 мм.

Проверяем нагрузку тарелки по жидкости:

$$L_V = \frac{L_V}{n \cdot \Omega \cdot D_K}$$

где  $L_V$  – объёмный расход жидкости, м<sup>3</sup>/ч;

$n$  – число потоков на тарелке, 1;

$\Omega$  – относительная длина слива, обычно находится в пределах 0,65-0,85.

$$L_V = \frac{0,31}{1 \cdot 0,75 \cdot 1,4} = 0,352 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч}),$$

Полученное значение расхода жидкости на единицу длины слива меньше максимально допустимого.

Выбираем следующие параметры однопоточной клапанной тарелки ВНИИНЕФТЕМАШа по ОСТ 26-02-1401-76:

1. Диаметр колонны  $A_t$  – 1400 мм;
2. Шифр тарелки Б;
3. Рабочая площадь тарелки  $S_p = 1,30 \text{ м}^2$ ;
4. Периметр слива  $B = 0,93 \text{ м}$ ;
5. Сечение перелива  $S_{II} = 0,12 \text{ м}^2$ ;
6. Межтарельчатое расстояние  $H = 500 \text{ мм}$  [25].

Далее производится определение общей высоты колонны:

$$H_K = H_1 + (n-1)h_p + H_n + H_2 + H_H + H_o \quad (3.65)$$

где  $n$  – общее число тарелок, 35 шт.;

$H_1$  – высота между крышкой колонны и верхней тарелкой – 1,0 м.

$h_p$  – высота промежутков между тарелками,  $h_p = 0,5$  м;

Высота секции питания  $H_n$  берётся равной 0,75 м;

Высота  $H_2$  принимается равной от 1 до 2 м, чтобы разместить глухую тарелку, принимаем  $H_2 = 1,5$  м.

Высота низа (куба) колонны  $H_n$  рассчитывается, исходя из 5-10 минутного запаса остатка при прекращении подачи сырья в колонну:

$$H_n = \frac{W \cdot 5}{\rho_{ж} \cdot 60 \cdot F_K} \quad (3.66)$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность остатка при температуре низа колонны:

$F_K = 0,785 \cdot D_K^2$  – площадь поперечного сечения колонны, м<sup>2</sup>.

$$H_n = \frac{4238,59 \cdot 5}{942,0 \cdot 60 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4}} = 0,24 \text{ м, примем } H = 0,5 \text{ м}$$

Высота опоры  $H_o$  конструируется с учётом обеспечения необходимого подпора жидкости и принимается высотой не менее 2-5 м.

Примем  $H_o = 2,5$  м.

Полная высота колонны:

$$H_K = 1,0 + 0,75 + 1,5 + 0,5 \cdot (35 - 1) + 0,5 + 2,5 = 23,25 \text{ м}$$

### 3.3 Механический расчет колонны

Проведем механический расчет колонны К-2. Листинг составленной программы в среде Mathcad приведен в Приложении А.

#### 3.3.1 Выбор конструкционных материалов

Согласно паспорту на аппарат К-2 [28], а также условиям эксплуатации, выбираем в качестве материала корпуса в углеродистую сталь 09Г2С,

соответствующую ГОСТ 19281-2014[3]. Допускаемое напряжение при температуре эксплуатации аппарата составит  $[\sigma] = 180 \text{ МПа}$ .

Допускаемое напряжение  $[\sigma]$  определяем по формуле (3.79) в соответствии с использовать ГОСТ 34233.1-2017[7]:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* \quad (3.67)$$

где  $\eta$  - поправочный коэффициент, равный 1 [7];

$\sigma^*$  - нормативное допускаемое напряжение, принимаемое в соответствии с таблицей А1[7] и для рабочих условий в аппарате равный 108 МПа.

Учитывая, что продольные и поперечные швы обечаек стальных аппаратов должны быть только стыковыми, и предполагая двухстороннюю сварку, выполненную автоматически, принимаем  $\varphi = 1$ [7].

### 3.3.2 Выбор расчетного давления

Расчетным приемем давление при гидроиспытании, превышающее величину рабочего давления атмосферной колонны [28]:

$$P_{расч} = P_{раб} + P_z \quad (3.68)$$

где  $P_{раб}$  – рабочее давление в аппарате,  $P_{раб} = 0,1 \text{ МПа}$ ;

$P_r$  – гидростатическое давление в условиях гидроиспытаний.

$$P_z = \rho \cdot g \cdot H \quad (3.69)$$

где  $\rho$  – плотность воды,  $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ [9];

$H$  – высота заполнения колонны (23,25 м) на 90...95 = 92,5%, 20,925 м.

$$P_z = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 20,925}{10^6} = 0,205 \text{ МПа}$$

$$P_{расч} = 0,10 + 0,205 = 0,305 \text{ МПа}$$

Гидростатическое давление учитывается, если оно больше, чем 5% от рабочего. Следовательно  $P_r$  учитывается в дальнейшем [16].

### 3.3.3 Расчет толщин стенок обечаек аппарата

Толщину стенки обечайки вычисляют по формуле [16]:

$$m_k = \left( \frac{x_k}{10} \right)^{-0.15} \quad (3.70)$$

где  $s_p$  – расчетная толщина стенки, мм [12, 16].

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} \quad (3.71)$$

где  $D$  – диаметр аппарата, принимается как наибольшая величина диаметра корпуса  $D = 1400$  мм;

$\varphi_p$  – коэффициент прочности сварного шва определяется согласно [6],  $\varphi_p = 1$ .

$$s_p = \frac{0,305 \cdot 10^6 \cdot 1,4}{2 \cdot 108 \cdot 10^6 \cdot 1 - 0,305 \cdot 10^6} = 0,002 \text{ м} = 2,0 \text{ мм}$$

$c$  – сумма прибавок к расчетным толщинам стенок, мм.

$$c = c_1 + c_2 + c_3 \quad (3.72)$$

где  $c_1$  – прибавка для компенсации коррозии, мм.

$$c_1 = \Pi \cdot \tau \quad (3.73)$$

где  $\Pi$  – глубинный показатель скорости коррозии материала [12],  $\Pi = 0,1 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$ .

$\tau$  – срок службы аппарата  $\tau = 10$  лет [12].

$$c_1 = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм} .$$

$c_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2 = 0,5$  мм.[12].

$c_3$  – прибавка для компенсации утонения стенки при технологических операциях,  $c_3 = 0$  [12, 16].

$$c = 1 + 0,5 + 0 = 1,5 \text{ мм}$$

$$s \geq 2,0 + 1,5 = 3,5 \text{ мм}$$

Принимаем  $s = 10$  мм [16]. Данное значение соответствует приведенному в паспорте на аппарат К-2 [28].

Допускаемое внутреннее избыточное давление найдем по формуле[28]:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \quad (3.74)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 108 \cdot 1 \cdot (0,010 - 0,0015)}{1,4 + (0,010 - 0,0015)} = 1,285 \text{ МПа}$$

$$0,305 \text{ МПа} \ll 1,285 \text{ МПа}$$

Таким образом, материал удовлетворяет требованиям по прочности.

Толщину крышки вычисляют по формул [9]:

$$s \geq s_{1p} + c \quad (3.75)$$

где  $s_{1p}$  – расчетная толщина стенки, мм [9]:

$$s_{1p} = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - 0,5 \cdot p} \quad (3.76)$$

где  $R$  – радиус кривизны в вершине днища (крышки), мм.

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} \quad (3.77)$$

где  $H$  – высота выпуклой части днища (крышки) без учета цилиндрической части, для эллиптических днищ  $H = 0,25 \cdot D$ .

$$R = \frac{1400^2}{4 \cdot 0,25 \cdot 1400} = 1400 \text{ мм}$$

$$s_{1p} = \frac{0,305 \cdot 10^6 \cdot 1,4}{2 \cdot 108 \cdot 10^6 - 0,5 \cdot 0,305 \cdot 10^6} = 0,002 \text{ м} = 2,0 \text{ мм}$$

Сумму прибавок к расчетным толщинам стенок  $c$  определяют по формуле[9]:

$$c_1 = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм} .$$

$c_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2 = 0,5 \text{ мм}$ .

$c_3$  – прибавка для компенсации утончения стенки при технологических операциях,  $c_3 = 0$ .

$$c = 1 + 0,5 + 0 = 1,5 \text{ мм}$$

$$s \geq 2,0 + 1,5 = 3,5 \text{ мм}$$

Принимаем  $s = 10 \text{ мм}$ .

Допускаемое внутреннее избыточное давление составит:

$$[p] = \frac{2 \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{R + 0,5 \cdot (s_1 - c)} \quad (3.78)$$

$$\frac{2 \cdot 108 \cdot 1 \cdot (0,010 - 0,0015)}{1,4 + (0,010 - 0,0015)} = 1,285 \text{ МПа}$$

$$0,305 \text{ МПа} \ll 1,285 \text{ МПа}$$

Таким образом, материал удовлетворяет требованиям по прочности.

### 3.3.4 Расчет укрепления отверстий

Укрепляемое отверстие – отверстие под штуцер ввода пара А[28].

Диаметр укрепляемого элемента для цилиндрической обечайки равен в соответствии с проведенными расчетами и паспортом на аппарат [28]:

$$D_p = D = 1400 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки, при наличии штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия вычисляются по формуле (3.92)[10]:

$$d_p = d + 2c_s \quad (3.79)$$

где  $d$  – внутренний диаметр штуцера [24]:

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_{20}^4 \cdot w}} \quad (3.80)$$

$V$  – объемный расход сырья, м<sup>3</sup>/с;

$w$  – скорость подачи сырья 1..2 м/с = 1,0 м/с.

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot 7572,873}{3600 \cdot 3,14 \cdot 558,5 \cdot 0,1}} = 0,219 \text{ м, примем } d = 0,3 \text{ м}$$

$c_s$  – сумма прибавок к расчетной толщине штуцера [10],

$$c_s = c = 1,5 \text{ мм}$$

$$d_p = 300 + 2 \cdot 1,5 = 303 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности, если плоскость, проходящая через продольный шов вальцованного штуцера и ось этого штуцера, образуют угол  $\psi=90^\circ$  с плоскостью продольного осевого сечения цилиндрической обечайки, согласно требованиям [6, 7],  $\varphi_1 = 1$ .

Расчетную толщину стенки штуцера, нагруженного как внутренним, так и наружным давлением, вычисляют по формуле:

$$s_{1p} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} \quad (3.81)$$

где  $[\sigma]_1$  – допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре[7],  $[\sigma]_1 = 133.52 \text{ МПа}$ .

$$s_{1p} = \frac{0,305 \cdot 10^6 \cdot (0,3 + 2 \cdot 0,002)}{2 \cdot 108 \cdot 10^6 \cdot 1 - 0,305 \cdot 10^6} \cdot 1000 = 0,432 \text{ мм} = 1 \text{ мм}$$

Расчетную длину внешней части круглого штуцера, участвующую в укреплении отверстия и учитываемую при расчете, вычисляют по формуле:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\} \quad (3.82)$$

где  $l_1$  – исполнительная внешняя длина штуцера[10],  $l_1 = 500 \text{ мм}$ ;

$s_1$  – исполнительная толщина стенки штуцера, определяемая аналогично формуле (91),  $s_1 = 2,5 \approx 3,0 \text{ мм}$ .

$$1,25 \cdot \sqrt{(0,3 + 2 \cdot 0,0015) \cdot (0,003 - 0,0015)} = 15,44 \text{ мм}$$

$$l_{1p} = \min \{500; 65\} = 15,44 \text{ мм}$$

Расчетную длину внутренней части круглого штуцера, участвующую в укреплении отверстия и учитываемую при расчете, вычисляют по формуле:

$$l_{3p} = \min \{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \} \quad (3.83)$$

где  $l_3$  – исполнительная внутренняя длина штуцера,  $l_3 = 80 \text{ мм}$ ;

$s_3$  – исполнительная толщина стенки внутренней части штуцера, в случае проходящего штуцера, согласно [10] составит,  $s_3 = s_1 = 3 \text{ мм}$ .

$$0,5 \cdot \sqrt{(0,3 + 2 \cdot 0,0015) \cdot (0,003 - 0,0015 - 0,001)} = 12,30 \text{ мм}$$

$$l_{3p} = \min \{80; 15\} = 12,30 \text{ мм}$$

Ширину зоны укрепления в обечайках, переходах и днищах вычисляют по формуле [10]:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \quad (3.84)$$

$$L_0 = \sqrt{1,4 \cdot (0,012 - 0,0015)} = 102,47 \text{ мм}$$

Расчетную ширину зоны укрепления в стенке обечайки при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца определяют как:

$$l_p = L_0 = 199,75 \text{ мм} \quad (3.85)$$

Расчетную ширину накладного кольца вычисляют по формуле:

$$l_{2p} = \min \left\{ l_2; \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right\} \quad (3.86)$$

где  $l_2$  – исполнительная ширина накладного кольца,  $l_2 = 300 \text{ мм}$ ;

$s_2$  – исполнительная толщина накладного кольца, согласно [5],  $s_2 = 4 \text{ мм}$ .

$$\sqrt{1,4 \cdot (0,004 + 0,012 - 0,0015)} = 147,31 \text{ мм.}$$

$$l_{2p} = \min \{300; 147,31\} = 147,31 \text{ мм.}$$

Отношение допускаемых напряжений для штуцера [10]:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} \quad (3.87)$$

$$\chi_1 = \frac{108 \cdot 10^6}{108 \cdot 10^6} = 1,0$$

Отношение допускаемых напряжений для накладного кольца, аналогично формуле (3.100),  $\chi_2 = 1,0$ .

Отношение допускаемых напряжений для внутренней части штуцера, аналогично формуле (3.100),  $\chi_3 = 1,0$ .

Расчетный диаметр отверстия, не требующий дополнительного укрепления, вычисляют по формуле [10]:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p (s - c)} \quad (3.88)$$

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{1,4 \cdot (0,010 - 0,0015)} = 43,63 \text{ мм.}$$

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие не оказывает на него влияния, что имеет место, когда расстояние между наружными поверхностями штуцеров удовлетворяет условию [10]:

$$b \geq \sqrt{d_p (s - c)} + \sqrt{d'_p (s - c)} \quad (3.89)$$

где  $d'_p$  – диаметр ближайшего укрепляемого элемента, штуцера  $d'_p = 303$ .

Согласно [1],  $b = 500 \text{ мм}$ .

$$\sqrt{0,303 \cdot (0,010 - 0,0015)} + \sqrt{0,903 \cdot (0,010 - 0,0015)} = 138,36 \text{ мм.}$$

500 > 138,36 – условие выполняется.

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют как:[10]

$$[p] = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s-c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s-c) \cdot V} \cdot V \quad (3.90)$$

где  $K_1$  – коэффициент, для цилиндрической обечайки  $K_1 = 1$ ;

$V$  – коэффициент понижения прочности.

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s-c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\} \quad (3.91)$$

$$V = \min\{1; 0,893\} = 0,893$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 1 \cdot (0,010 - 0,0015) \cdot 1 \cdot 108 \cdot 10^6}{1,4 + (0,010 - 0,0015) \cdot 0,893} \cdot 0,893 = 1,304 \text{ МПа}$$

0,305 МПа << 1,304 МПа – условие соблюдается

### 3.3.5 Поверочный расчет оборудования

Определим вес оборудования согласно [24].

Вес колонны в рабочих условиях рассчитывают по формуле[24]:

$$G_1 = G_{уч} + G_{уч} + G_{кр} + G_{он} + G_m + G_{пл.об} + G_{тепл.из} + G_{раб.ср} + G_l + G_{он} \quad (3.92)$$

где  $G_{уч}$  – вес укрепляющей части колонны, Н.

$$G_{уч} = \pi \cdot D_{уч} \cdot s \cdot H_g \cdot \rho_{ст} \cdot g \quad (3.93)$$

где  $\rho_{ст}$  – плотность стали, для марки 09Г2С,  $\rho_{ст} = 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

$H_g$  – общая высота укрепляющей и шлемовой частей колонны.

$$H_g = 7,76 \text{ м.}$$

$$G_{уч} = \pi \cdot 1,4 \cdot 0,01 \cdot 7,76 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 26269,88 \text{ Н.}$$

$G_{уч}$  – вес исчерпывающей части колонны, Н.

$$G_{уч} = \pi \cdot D_{уч} \cdot s \cdot H_n \cdot \rho_{ст} \cdot g \quad (3.94)$$

где  $H_{и}$  – общая высота исчерпывающей части и участка от первой тарелки до опорной обечайки, м.

$$H_{и} = 15,08 \text{ м.}$$

$$G_{иц} = \pi \cdot 1,4 \cdot 0,01 \cdot 15,08 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 51050,23 \text{ Н}$$

$G_{кр}$  – вес крышки, Н.

$$G_m = n_{укр} \cdot G_{укр}^m + n_{исч} \cdot G_{исч}^m \quad (3.95)$$

$$G_{кр} = 1,24 \cdot 1,4^2 \cdot 0,010 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 1871,62 \text{ Н.}$$

$G_{дн}$  – вес днища, определяется аналогично формуле (117)

$$G_{дн} = 1,24 \cdot 1,4^2 \cdot 0,010 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 1871,62 \text{ Н.}$$

$G_m$  – вес тарелок, Н.

$$G_m = n_{укр} \cdot G_{укр}^m + n_{исч} \cdot G_{исч}^m \quad (3.96)$$

где  $n_{укр}$  – число тарелок в укрепляющей части,  $n_{укр} = 11$ .

$G_{укр}^m$  – вес одной тарелки в укрепляющей части, согласно [8]  $G_{укр}^m = 830 \text{ Н}$ .

$n_{исч}$  – число тарелок в исчерпывающей части,  $n_{исч} = 36$ .

$G_{исч}^m$  – вес одной тарелки в исчерпывающей части, согласно [8]  $G_{исч}^m = 830 \text{ Н}$ .

$$G_m = 24 \cdot 7500 + 36 \cdot 8200 = 29050 \text{ Н.}$$

$G_{тепл.из}$  – вес теплоизоляции, Н.

$$G_{тепл.из} = F_{тепл.из} \cdot S_{тепл.из} \cdot \rho_{тепл.из} \cdot g \quad (3.97)$$

где  $F_{тепл.из}$  – площадь внутренней поверхности теплоизоляции,  $\text{м}^2$ .

$$F_{тепл.из} = \pi \cdot (D_{уч} + 2 \cdot s) \cdot H_6 + \pi \cdot (D_{иц} + 2 \cdot s) \cdot H_{и} + 1,24 \cdot (D_{уч} + 2 \cdot s)^2 + 1,24 \cdot (D_{иц} + 2 \cdot s)^2 \quad (3.98)$$

$$F_{тепл.из} = \pi \cdot (1,4 + 2 \cdot 0,010) \cdot 7,76 + \pi \cdot (1,4 + 2 \cdot 0,010) \cdot 15,08 + 1,24 \cdot (1,4 + 2 \cdot 0,010)^2 + 1,24 \cdot (1,4 + 2 \cdot 0,010)^2$$

$$F_{тепл.из} = 106,84 \text{ м}^2$$

$S_{тепл.из}$  – толщина слоя теплоизоляции, согласно техническому заданию

$$S_{тепл.из} = 100 \text{ мм.}$$

$\rho_{тепл.из}$  – плотность материала теплоизоляции (стекловаты)  $\rho_{тепл.из} = 160 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

$$G_{тепл.из} = 106,84 \cdot 0,10 \cdot 160 \cdot 9,81 = 16769,55 \text{ Н}$$

Найдем  $G_l$  – вес люков, Н.

$$G_l = n_l \cdot m_l \cdot g \quad (3.99)$$

где  $n_{л}$  – число люков при данной высоте колонны, согласно [28]  $n_{л} = 5$ .

$m_{л}$  – масса одного люка, согласно диаметром 500 мм, 281 кг [28].

$$G_{л} = 5 \cdot 281 \cdot 9.81 = 13783,05 \text{ Н.}$$

Определим далее  $G_{пл.об}$  – вес площадок обслуживания, Н.

$$G_{пл.об} = n_{пл.об} \cdot m_{пл.об} \cdot g \quad (3.100)$$

где  $n_{пл.об}$  – число площадок обслуживания, согласно [1]  $n_{пл.об} = 5$ .

$m_{пл.об}$  – масса одной площадки обслуживания.

$$m_{пл.об} = \nu \cdot S_{пл.об} \quad (3.101)$$

где  $\nu$  – поверхностная плотность площадки обслуживания,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ .

Масса площадки обслуживания находится из условия, что 1  $\text{м}^2$  площадки обслуживания примерно равен 1  $\text{м}^2$  клапанной тарелки.

Масса клапанной тарелки диаметром 1400 мм в соответствии с ОСТ составляет 83 кг. Тогда поверхностная плотность составит:

$$\nu = \frac{4 \cdot 83}{\pi \cdot 1^2} = 105,73 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}.$$

$S_{пл.об}$  – площадь площадки обслуживания  $\text{м}^2$ .

$$S_{пл.об} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{нар}^2 - D^2) \quad ]$$

где  $D_{нар}$  – наружный диаметр площадки обслуживания, м.

$$D_{нар} = D + 2 \cdot s_{тепл.уз} + 2 \cdot s + 2 \quad (3.103)$$

Все площадки обслуживания расположены в укрепляющей части колонны, поэтому

$$D_{нар} = 1,4 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,01 + 2 = 3,62 \text{ м.}$$

$$S_{пл.об} = \frac{\pi}{4} \cdot (3,62^2 - 1,4^2) = 8,748 \text{ м}^2.$$

$$m_{пл.об} = 105,73 \cdot 8,748 = 378,72 \text{ кг.}$$

$$G_{пл.об} = 5 \cdot 378,72 \cdot 9.81 = 18576,03 \text{ Н.}$$

$G_{раб.ср}$  – вес рабочей среды, Н.

$$G_{раб.ср} \approx H_{раб.ср} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \rho_{раб.ср} \cdot g \quad (3.104)$$

где  $H_{\text{раб.ср}}$  – высота столба рабочей жидкости от самой нижней точки днища аппарата, м, принимаем при испытании:  $H_{\text{раб.ср}} = 1,5$  м.

$\rho_{\text{раб.ср}}$  – плотность рабочей жидкости (воды),  $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

$$G_{\text{раб.ср}} \approx 1,5 \cdot \frac{\pi \cdot 1,4^2}{4} \cdot 1000 \cdot 9,81 = 26640,5 \text{ Н.}$$

где  $G_{\text{он}}$  – вес опорной обечайки, Н.

$$G_{\text{он}} = \pi \cdot D_{\text{уч}} \cdot s \cdot H_{\text{он}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot g \quad (3.105)$$

$$G_{\text{он}} = \pi \cdot 1,4 \cdot 0,010 \cdot 2,5 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 8463,23 \text{ Н.}$$

Отсюда находим сумму весов элементов колонны:

$$G_1 = \sum G_i = 26269,88 + 51050,23 + 2 \cdot 1871,62 + 29050 + 16769,55 + \\ + 13783,05 + 26640,5 + 8463,23 = 217140,20 \text{ Н}$$

Вес площадки в условиях гидроиспытания определяется по формуле:

$$G_2 = G_1 - G_{\text{раб.ср}} + \rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{к}} \cdot g \quad (3.106)$$

где  $V_{\text{к}}$  – объем колонны, заполняемый водой при гидроиспытании,  $\text{м}^3$ .

$$V_{\text{к}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{уч}}^3}{24} + \frac{\pi \cdot D_{\text{уч}}^2}{4} \cdot H_{\text{в}} + \frac{\pi \cdot D_{\text{уч}}^2}{4} \cdot H_{\text{н}} + \frac{\pi \cdot D_{\text{уч}}^3}{24} \quad ]$$

$$V_{\text{к}} = \frac{\pi \cdot 1,4^3}{24} + \frac{\pi \cdot 1,4^2}{4} \cdot 7,76 + \frac{\pi \cdot 1,4^2}{4} \cdot 15,08 + \frac{\pi \cdot 1,4^3}{24} = 35,86 \text{ м}^3$$

$$G_2 = 217140,20 - 26640,5 - 1000 \cdot 35,86 \cdot 9,81 = 546282,74 \text{ Н}$$

Максимальная нагрузка от собственного веса в условиях монтажа рассчитывается по формуле

$$G_3 = G_1 - G_{\text{раб.ср}} \quad (3.108)$$

$$G_3 = 217140,20 - 26640,5 = 194499,70 \text{ Н}$$

Минимальная нагрузка от собственного веса в условиях монтажа (после установки колонны в вертикальное положение) вычисляется как:

$$G_4 = G_{\text{уч}} + G_{\text{уч}} + G_{\text{кр}} + G_{\text{он}} + G_{\text{л}} + G_{\text{он}} \quad (3.109)$$

$$G_4 = 26269,88 + 51050,23 + 2 \cdot 1871,62 + 13783,05 + 8463,23 = 103309,62 \text{ Н.}$$

Определим расчетные усилия от ветровых и сейсмических воздействий при рабочих условиях [17].

Период основного тона собственных колебаний аппарата [17]:

$$T^{(1)} = 2 \cdot \pi \cdot H \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z (G_i^{(1)} \cdot \alpha_i^2)}{g \cdot \left( \frac{H}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \gamma + \frac{1}{C_F \cdot I_F} \right)}} \quad (3.110)$$

где  $E$  – модуль продольной упругости материала колонны при расчетной температуре,  $E = 1.902 \cdot 10^{11}$  Па.

$C_F$  – коэффициент неравномерности сжатия грунта, согласно <sup>[9]</sup>  $C_F = 6 \cdot 10^7 \frac{H}{\text{м}^3}$ .

$I_F$  – минимальный момент инерции подошвы фундамента,  $\text{м}^4$ .

$$I_F = \frac{\pi}{64} \cdot D_F^4 \quad (3.111)$$

где  $D_F$  – диаметр подошвы фундамента, м.

$$D_F = D_{\text{нар.кол}} + 1 \quad (3.112)$$

где  $D_{\text{нар.кол}}$  – наружный диаметр фундаментного кольца, м.

$$D_{\text{нар.кол}} = D_n \cdot (1 + 1,35 \cdot K_0) \quad (3.113)$$

где  $D_n$  – наружный диаметр опорной обечайки,  $D_n = 1,42$  м.

$K_0$  – коэффициент, согласно <sup>[10]</sup>,  $K_0 = 0.063$ .

$$D_{\text{нар.кол}} = 1,42 \cdot (1 + 1,35 \cdot 0.063) = 1,541 \text{ м.}$$

$$D_F = 1,541 + 1 = 2,541 \text{ м.}$$

$$I_F = \frac{\pi}{64} \cdot 2,541^4 = 2,045 \text{ м}^4.$$

$I_1$  – момент инерции верхнего основного металлического сечения относительно центральной оси,  $\text{м}^4$  [24]

$$I_1 = \frac{\pi}{64} \cdot ((D_{\text{уч}} + 2 \cdot s)^4 - D_{\text{уч}}^4) \quad (3.114)$$

$$I_1 = \frac{\pi}{64} \cdot ((1,4 + 2 \cdot 0,01)^4 - 1,4^4) = 0,011 \text{ м}^4.$$

$\gamma$  – безразмерный коэффициент, согласно <sup>[5]</sup>  $\gamma$  определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{2}{H^3} \cdot (H_1^{*3} \cdot (\Delta^* + \lambda) + H_2^* \cdot \mu + 2 \cdot \frac{I_1}{I_3} \cdot H_1^* \cdot H_2^* \cdot H_3^*) \quad (3.115)$$

где  $H_1^*$ ,  $H_2^*$ ,  $H_3^*$  – высоты верхней, нижней частей колонны, а также высота опоры соответственно (рисунок 3.2), м.

$$H_1^* = 7,76 \text{ м.}$$

$$H_2^* = 15,05 \text{ м.}$$

$$H_3^* = 2,5 \text{ м.}$$

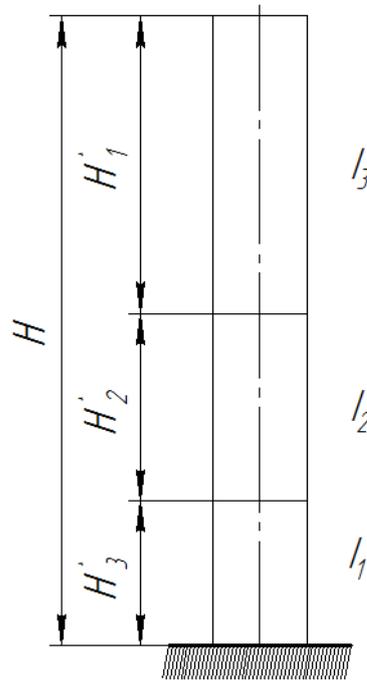


Рис. 3.2 – Основные сечения аппарата [22]

$\Delta^*$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$  – безразмерные коэффициенты [22]:

$$\Delta^* = \frac{1}{3} + \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{H_2^*}{H_1^*} \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{H_2^*}{H_1^*} \right)^2 + \frac{H_2^*}{H_1^*} + 1 \right) \quad (3.116)$$

где  $I_2$  – момент инерции нижнего основного металлического сечения относительно центральной оси, определяется по формуле, аналогичной (136)

$$I_2 = \frac{\pi}{64} \cdot ((1,4 + 2 \cdot 0,01)^4 - 1,4^4) = 0,011 \text{ м}^4.$$

Отсюда находим:

$$\Delta^* = \frac{1}{3} + \frac{0,011}{0,011} \cdot \frac{15,05}{7,76} \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{15,05}{7,76} \right)^2 + \frac{15,05}{7,76} + 1 \right) = 8,466$$

$$\lambda = \frac{I_1}{I_3} \cdot \frac{H_3^*}{H_1^*} \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{H_3^*}{H_1^*} \right)^2 + \frac{H_3^*}{H_1^*} + 1 \right) \quad (3.117)$$

где  $I_3$  – момент инерции металлического сечения опоры относительно центральной оси,  $I_3 = I_2 = 0,011 \text{ м}^4$ .

$$\lambda = \frac{0,011}{0,011} \cdot \frac{2,5}{7,76} \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{2,5}{7,76} \right)^2 + \frac{2,5}{7,76} + 1 \right) = 0,863.$$

$$\mu = \frac{I_1}{I_3} \cdot \frac{H_3^*}{H_2^*} \cdot \left( \frac{H_3^*}{H_2^*} + 1 \right) \quad (3.118)$$

$$\mu = \frac{0,011}{0,011} \cdot \frac{2,5}{15,05} \cdot \left( \frac{2,5}{15,05} + 1 \right) = 0,194$$

Отсюда находим  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{2}{25,31^3} \cdot \left( 7,76^3 \cdot (8,466 + 0,557) + 15,05 \cdot 0,194 + 2 \cdot \frac{0,011}{0,011} \cdot 7,76 \cdot 15,05 \cdot 2,5 \right) = 0,605$$

$\alpha_i$  – относительное перемещение центров тяжести участков,  $\frac{1}{H \cdot m}$ .

$$\alpha_i = \gamma \cdot \frac{H}{2 \cdot E \cdot I_1} \cdot \beta_i + \frac{x_i}{H \cdot C_F \cdot I_F} \quad (3.119)$$

где  $\beta_i$  – коэффициент координат сечения. Значения коэффициентов  $\beta_i$ , координат середин участков  $x_i$ , а также рассчитанных по формуле (3.132) относительных перемещений  $\alpha_i$  сведены в таблицу 3.20.

Таблица 3.20 – Значения коэффициентов  $\beta_i$  и относительных перемещений  $\alpha_i$

$x_{i,m}$	21,43	10,03	2,5
$\beta_i$	0,66	0,13	0,0025
$\alpha_i \cdot 10^9, \frac{1}{H \cdot m}$	9,316	5,642	2,816

Отсюда находим:

$$T^{(1)} = 2 \cdot \pi \cdot 25,31 \cdot \sqrt{\frac{10^{-18} \cdot (9,316^2 \cdot 26269,88 + 5,642^2 \cdot 52050,23 + 2,316^2 \cdot 8463,23)}{9,81 \cdot \left( \frac{25,31}{2 \cdot 1,902 \cdot 10^{11} \cdot 0,011} \cdot 0,605 + \frac{1}{6 \cdot 10^7 \cdot 2,045} \right)}} = 0,931 \text{ с}$$

Нормативные значения статической составляющей ветровой нагрузки на середине  $i$ -ого участка аппарата, согласно <sup>[9]</sup> определяют по формуле [22]:

$$q_{ist} = q_0 \cdot \theta_i \cdot K \quad (3.120)$$

где  $q_0$  – скоростной напор ветра, согласно для ветрового района II  $q_0 = 300 \frac{H}{M^2}$ .

$\theta_i$  – коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора по высоте:

$$\theta_i = \left(\frac{x_i}{10}\right)^{0.31} \quad (3.121)$$

$$\theta_1 = \left(\frac{21,43}{10}\right)^{0.31} = 1,267, \theta_2 = \left(\frac{10,03}{10}\right)^{0.31} = 1,001, \theta_3 = \left(\frac{1,25}{10}\right)^{0.31} = 0,525$$

где  $K$  – аэродинамический коэффициент, принятый равным  $K = 0.7$  [22].

$$q_{1st} = 300 \cdot 1,267 \cdot 0.7 = 265,97 \frac{H}{M^2}.$$

$$q_{2st} = 300 \cdot 1,001 \cdot 0.7 = 210,16 \frac{H}{M^2}.$$

$$q_{3st} = 300 \cdot 0,525 \cdot 0.7 = 110,22 \frac{H}{M^2}.$$

Статическая составляющая ветровой нагрузки на  $i$ -м участке:

$$P_{ist} = q_{ist} \cdot D_i \cdot h_i \quad (3.122)$$

где  $D_i$  – наружный диаметр  $i$ -ого участка колонны, для всех 3 участков;

$h_i$  – высота  $i$ -ого участка колонны, м.

$$P_{1st} = 265,97 \cdot 1,42 \cdot 7,76 = 2,93 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

$$P_{2st} = 210,16 \cdot 1,42 \cdot 15,05 = 4,49 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

$$P_{3st} = 110,22 \cdot 1,42 \cdot 2,5 = 0,39 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Динамическая составляющая ветровой нагрузки на  $i$ -ом участке определяется по формуле [22]:

$$P_{idyn} = v \cdot G_i^{(1)} \cdot \zeta \cdot \eta_i \quad (3.123)$$

где  $v$  – коэффициент корреляции пульсации давления ветра.

$$v = 0.968 - 0,025 \cdot \sqrt{H} \quad (3.124)$$

$$v = 0,968 - 0,025 \cdot \sqrt{25,31} = 0,842$$

$\zeta$  – коэффициент динамичности при ветровой нагрузке:

$$\zeta = 1,1 + \sqrt{15,5 \cdot \varepsilon} \quad (3.125)$$

где  $\varepsilon$  – параметр.

$$\varepsilon = \frac{T \cdot \sqrt{q_0}}{790} \quad (3.126)$$

$$\varepsilon = \frac{0,93 \cdot \sqrt{300}}{790} = 0,02$$

$$\zeta = 1,1 + \sqrt{15,5 \cdot 0,02} = 1,662$$

$\eta_i$  – приведенное относительное ускорение центра тяжести  $i$ -ого участка.

$$\eta_i = \alpha_i \cdot \frac{\sum_{k=1}^z \alpha_k \cdot m_k \cdot P_{kst}}{\sum_{k=1}^z (G_k^{(1)} \cdot \alpha_k^2)} \quad (3.127)$$

где  $m_k$  – коэффициент пульсации скоростного напора середины  $k$ -ого участка.

$$m_k = \left( \frac{x_k}{10} \right)^{-0.15} \quad (3.128)$$

$$m_1 = \left( \frac{21,43}{10} \right)^{-0.15} = 0,892, \quad m_2 = \left( \frac{10,03}{10} \right)^{-0.15} = 1, \quad m_3 = \left( \frac{1,25}{10} \right)^{-0.15} = 1,366$$

Рассчитанные значения  $\eta_i$  в зависимости от  $\alpha_i$  сведены в таблицу 3.21.

Таблица 3.21 – Расчетные значения  $\eta_i$

$\alpha_i \cdot 10^9, (1/(H \cdot m))$	9,316	5,642	2,816
$\eta_i$	0,12	0,073	0,036

Отсюда находим [22]:

$$P_{1dyn} = 0,842 \cdot 26269,88 \cdot 1,662 \cdot 0,12 = 4415,73 \text{ Н.}$$

$$P_{2dyn} = 0,842 \cdot 51050,23 \cdot 1,662 \cdot 0,073 = 5197,53 \text{ Н.}$$

$$P_{3dyn} = 0,842 \cdot 8463,23 \cdot 1,662 \cdot 0,036 = 430,08 \text{ Н.}$$

Общая ветровая нагрузка на  $i$ -ом участке определяется по формуле [22]:

$$P_i = P_{ist} + P_{dyn} \quad (3.129)$$

$$P_1 = 2,93 \cdot 10^3 + 4415,73 = 38800,26 \text{ Н.}$$

$$P_2 = 4,49 \cdot 10^3 + 5197,53 = 59353,97 \text{ Н.}$$

$$P_3 = 0,39 \cdot 10^3 + 430,08 = 4987,41 \text{ Н.}$$

Изгибающий момент в расчетном сечении высоте  $x_0$  от действия ветровой нагрузки на обслуживающую площадку  $j$  определяется по формуле:

$$M_{vj} = K \cdot q_0 \cdot \theta_j \cdot (x_j - x_0) \cdot (1 + 0.75 \cdot \zeta \cdot \chi_j \cdot m_j) \cdot A_j \quad (3.130)$$

где  $A_j$  – площадь, ограниченная контуром  $j$ -й площадки,  $m^2$ .

$$A_j = (D_{уч} + 2 \cdot s + 2 \cdot s_{мен.уз} + 2,6) \cdot h_{пл.обсл} \quad (3.131)$$

где  $h_{пл.обсл.}$  – высота профиля площадки обслуживания, для каждой площадки обслуживания в аппарате  $h_{пл.обсл} = 1.01$  м. Все площадки обслуживания

находятся в укрепляющей части колонны, следовательно величина площади, ограниченной контуром площадки, будет одинакова для всех площадок.

$$A = (1,4 + 2 \cdot 0,01 + 2 \cdot 0,10 + 2,6) \cdot 1,01 = 4,26 \text{ м}^2.$$

$\chi_j$  – коэффициент:

$$\chi_j = 1,56 \cdot \left( \frac{x_j}{H} \right)^{1,6} \quad (3.132)$$

$$\chi_1 = 1,56 \cdot \left( \frac{21,43}{25,31} \right)^{1,6} = 1,195.$$

$$\chi_2 = 1,56 \cdot \left( \frac{10,03}{25,31} \right)^{1,6} = 0,354.$$

$$\chi_3 = 1,56 \cdot \left( \frac{1,25}{25,31} \right)^{1,6} = 0,013.$$

Рассчитанные значения приведены в таблице 3.22. Здесь координате  $x_{10} = 0$  соответствует сечение  $X - X$ , координате  $x_{11} = 1,25$  м – сечение колонны  $K - K$ ,  $x_{12} = 10,03$  м соответствует сечение  $Z - Z$ ,  $x_{13} = 21,43$  м соответствует сечение  $W - W$  (рисунок 3.3) [17, 22].

Общий изгибающий момент в расчетном сечении на высоте определяется по формуле:

$$M_v = \sum_{i=1}^z (P_i \cdot (x_i - x_0)) + \sum_{j=1}^m (M_{vj}) \quad (3.133)$$

Напряжение в сплошном сварном шве, крепящем корпус аппарата к цилиндрической опорной части, определяют в опасном сечении  $W - W$ :

$$\sigma_c = (Q_{\max} / F_c) + (M' / W_c) \quad (3.134)$$

$f_c$  – площадь опасного сечения шва, для окружности диаметром 1,4 м равная:

$$f_c = 2 \cdot \pi \cdot D_H / 2 \cdot s$$

$$f_c = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,4 / 2 \cdot 0,010 = 0,044 \text{ м}^2$$

$W_c$  – момент сопротивления сварного шва изгибу, примем равным 0,4;

$Q_{\max}$  – вес аппарата при гидроиспытании, найден ранее 217140,20 Н;

$M'$  – изгибающий момент относительно сечения сварного шва от ветровых и эксцентрично приложенных массовых нагрузок, действующих выше сварного шва.

$$\sigma_c = (m_{\max} / F_c) + (M' / W_c) \quad (3.135)$$

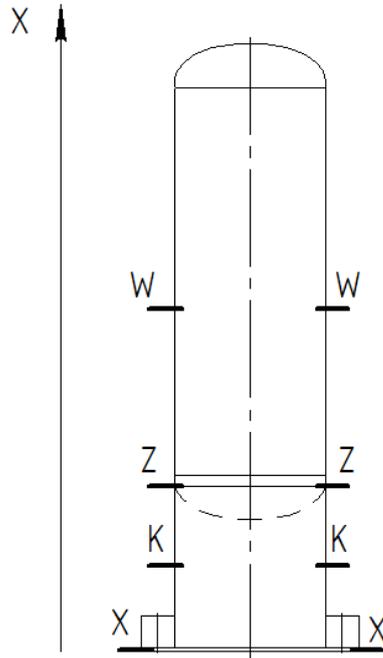


Рис. 3.3 – Расположение расчетных сечений [17]

Таблица 3.22 – Сводная таблица результатов

Параметр	Значение $x_{13}$	Значение $x_{12}$	Значение $x_{11}$
$x_i$ , м	41,3	19,8	19,8
$\theta_i$	1,267	1,001	0,525
$m_i$	0,892	1,000	1,366
$\chi_i$	1,195	0,354	0,013
$M_{vj} \cdot 10^4$ , Н·м для сечения W – W	5,329	3,012	0
$M_{vj} \cdot 10^4$ , Н·м для сечения Z – Z	2,317	1,987	0
$M_{vj} \cdot 10^4$ , Н·м общий	3,398	1,904	1,066

Подставив данные, получим:

$$\sigma_c = (217140,20 / 0,044) + (3,398 \cdot 10^4 / 0,4) = 5,024 \text{ МПа}$$

Напряжение в сварном шве при работе на срез:

$$\sigma_c \leq 0,8 \cdot \varphi \cdot [\sigma]$$

$[\sigma] = 108$  – допускаемое напряжение растяжения для основного металла,

$\varphi = 0,8$  – коэффициент прочности сварного шва.

$$\sigma_c \leq 0,8 \cdot 108 \cdot 0,8 = 69,12 \text{ МПа},$$

Откуда  $5,024 \text{ МПа} \leq 69,12 \text{ МПа}$  – конструкция устойчива

Листинг программы в среде Mathcad приведен в Приложении А.



## 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2к41	Вписать

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

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

1. Стоимость сырья, промежуточных продуктов, готовой продукции УПН-100 по данным предприятия. Сметная стоимость зданий, основного и вспомогательного оборудования.	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система аналогового обложения, ставки аналогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИИ в позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	
2. Определение себестоимости продукции и	
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	

#### Перечень графического материала (сточным указанием обязательных чертежей):

1. Лист технико-экономических показателей проекта	
---	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К41	Зудилин Александр Сергеевич		

#### **4.1 Предпроектный анализ. Анализ рынка. Основные потребители и конкуренты**

Реконструкция крупнотоннажных ректификационных колонн требует значительных капитальных и временных затрат. Поэтому часто на заводах проводится поэтапная реконструкция, с частичной заменой элементов оборудования [9, 11].

Целью данного дипломного проекта является проектирование колонны переработки отбензиненной нефти К-2 на УПН-100 и расчет производительности и проверочный механический расчет элементов аппарата с целью обоснования возможности увеличения производительности колонны в рамках данной установки на 20%.

В процессе создания выпускной квалификационной работы экономические обоснования носят самый разнообразный характер (обоснование частных решений, оценка эффективности комплекса мероприятий по совершенствованию организации производства, оценка эффективности проекта реорганизации участка или цеха и т.п.

Экономическая эффективность определяется на основе серии последовательно выполняемых расчетов показателей (срока окупаемости, себестоимости продукции, прибыли, дополнительных капиталовложений и др.).

Продукция, производимая УПН-100: бензиновая, керосиновая, дизельная фракция нефти и мазут является востребованной на рынке, в особенности, в зимний период.

Целевой рынок: тепловые сети, широкий спектр производств, население.

Основными конкурентами для данного производства сплановой производительность 120 тыс. тонн сырья в год являются крупные НПЗ с широкими возможностями по распространению продукции.

## 4.2 Проведение SWOT-анализа

Качественный подход к описанию рисков заключается в детальном и последовательном рассмотрении содержательных факторов, несущих неопределенность, и завершается формированием причин основных рисков и мер по их снижению. Одной из методик анализа сильных и слабых сторон предприятия, его внешних, благоприятных возможностей и угроз является SWOT-анализ. Результаты SWOT-анализа данного проекта приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 SWOT-анализ производства

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Квалифицированный руководитель. С5. Возможность использования в качестве сырья побочных продуктов добычи (попутный нефтяной газ).	<b>Слабые стороны проекта:</b> Сл1. Большое количество конкурентов Сл2. Необходимость больших капитальных затрат Сл3. Необходимость развития широкой логистической сети по подаче сырья и транспортировке продукта
<b>Возможности:</b> В1. Использование поддержки государства как производством проходящим по приоритетным направлениям развития экономики (по критерию ресурсоэффективности). В2. Развитие потребительской способности рынка на производимый продукт В3. Повышение стоимости конкурентных (иностраных) разработок в виду роста отношения стоимости доллара к рублю	1. Развитие прочных связей с отечественными и иностранными потребителями 2. Увеличение производственных мощностей при сохранении себестоимости продукции	1. Повышение квалификации кадров 2. Необходимость привлечения значительных капитальных затрат
<b>Угрозы:</b> У1. Высокая конкуренция рынка	1. Продвижение новой технологии с целью появления спроса 2. Использование отечественного сырья 3. Применение технологии к альтернативным источникам	1. Повышение квалификации кадров 2. Привлечение новых заказчиков 3. Применение технологии к альтернативным источникам
У2. Риск невозможности импорта товаров из-за введения секторальных санкций		

## 4.3 Проведение экономических расчетов

### 4.3.1 Организация труда и расчет заработной платы

Численность персонала проектируемого объема в зависимости от выполняемых функций подразделяется на две категории: рабочие (цеховые и вспомогательные) и служащие. К служащим относятся руководители (начальники и заместители начальников установки, начальники и мастера смен), специалисты (нормировщики, лаборанты и пр.) и прочие служащие.

#### 4.3.1 Баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего

Условия труда на данном производстве вредные. Данный режим работы предусматривает, что в сутки работает 3 смены по 8 часов, то есть 4 бригады. Период сменоборота 16 дней (табл. 4.2).

Таблица 16 График сменности на УПН-100

Сме-ны	Время рабо-ты																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
А	8–16	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В
Б	16–24	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А
В	0–8	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г
Г		Г	В	Б	Б	А	Г	В	В	Б	А	Г	Г	В	Б	А	А	Г	В	В	Б	А	Г	В	В	Б

Численность трудящихся в рассматриваемом установке рассчитывается по категориям работников: основные рабочие, вспомогательные рабочие (в том числе дежурный и ремонтный персонал), служащие, инженерно-технические работники (ИТР) и младший обслуживающий персонал (МОП).

Рассчитаем баланс рабочего времени. Определим номинальный фонд рабочего времени в днях ( $V_{дн}$ ) и часах ( $V_{час}$ ):

$$V_{дн} = T_K - D_{в.г}, \quad (4.1)$$

где  $T_K$  – календарный фонд рабочего времени в днях;

$D_{в.г}$  – выходные дни по графикам сменности.

$$D_{в.г} = T_K * D_{в.с} / D_c, \quad (4.2)$$

где  $D_{в.с}$  – число выходных дней за период сменоборота;

$D_c$  – период сменоборота.

$$D_{в.г} = 365 * 4 / 16 = 91 \text{ день.}$$

$$V_{дн} = 365 - 91 = 274 \text{ дня.}$$

$$V_{час} = V_{дн} * t_{см}, \quad (4.3)$$

где  $t_{см}$  – продолжительность смены, час;

$$V_{час} = 274 * 8 = 2192 \text{ часа.}$$

Эффективный фонд рабочего времени ( $V_{эфф}$ ):

$$V_{эфф} = V_{дн} - D_n, \quad (4.4)$$

где  $D_n$  – количество целодневных невыходов на работу, в днях;

$$V_{эфф} = 274 - 39 = 235 \text{ дней.}$$

Таблица 4.3 – Баланс рабочего времени среднесписочного рабочего

Элементы времени	Производство с непрерывным режимом работы
Календарный фонд рабочего времени ( $T_K$ ), дни	365
Нерабочие дни, всего:	91
в том числе, праздничные выходные ( $D_{в.г}$ )	- 91
Номинальный фонд рабочего времени ( $V_n$ )	
в днях:	274
в часах:	2192
Целодневные невыходы на работу ( $D_n$ ), дни	27
очередные и дополнительные отпуска: отпуска учащимся:	2
декретные отпуска:	-
невыходы по болезни:	10
Итого целодневных невыходов	39
Эффективный фонд рабочего времени ( $V_{эф}$ ), дни	235
Максимальное число рабочих часов ( $V_{м.ч.}$ ), ч/год	1880
Эффективный фонд рабочего времени ( $V_{эф.ч.}$ ), ч	1880
Средняя продолжительность смен, ч	8

Максимальное количество рабочих часов в год на одного среднесписочного рабочего ( $V_{н.г}$ ):

$$V_{Н.Г} = V_{ЭФФ} * t_{СМ}, \quad (4.5)$$

$$V_{Н.Г} = 235 * 8 = 1880 \text{ часов.}$$

Эффективный фонд рабочего времени в часах ( $V_{ЭФФ,ЧАС}$ ):

$$V_{ЭФФ,ЧАС} = V_{Н.Г} - D_{ВН.СМ},$$

где  $D_{ВН.СМ}$  – внутрисменные потери рабочего времени в часах. В данном случае они отсутствуют. Тогда:

$$V_{ЭФФ,ЧАС} = 1880 \text{ часов.}$$

Средняя продолжительность рабочей смены ( $t_{СМ.СР}$ ):

$$t_{СМ.СР} = V_{ЭФФ,ЧАС} / V_{ЭФФ,ДН},$$

$$t_{СМ.СР} = 1880 / 235 = 8 \text{ часов.}$$

#### 4.1.2 Расчет численности основных производственных рабочих

К основным производственным рабочим относятся рабочие основных цехов, выполняющие основные (технологические) операции.

Норматив затрачиваемого времени на обслуживание оборудования  $H_{об}$  рассчитывается как отношение времени оперативной работы рабочего за смену ( $P_{оп.см}$ ) к времени оперативной работы по обслуживанию одного аппарата за смену:

$$H_{об.} = \frac{P_{оп.см}}{P_{ан.оп.см}} \quad (4.6)$$

Время оперативной работы рассчитаем, вычтя из продолжительности смены ( $T_{СМ}$ ) нормируемые затраты времени на работу подготовительно-заключительную ( $P_{п.з.} = 0,06P_{оп.см}$ ) и по обслуживанию рабочего места ( $P_{об} = 0,08P_{оп.см}$ ), а также перерывов на отдых и личные надобности ( $P_{ол} = 0,07P_{оп.см}$ ). Для непрерывных процессов оно рассчитывается сразу за смену.

$P_{оп.см}^{анн}$  в результате увеличения производительности линии переработки нефти за счет более полного реагирования водорода в результате оптимизации технологического режима при установке КИПиА.

$$H_{об.} = \frac{T_{см} - 0,06T_{см} - 0,08T_{см} - 0,07T_{см}}{P_{оп.см}^{ann}} \quad (4.7)$$

$$H_{об.} = \frac{7 - 0,06 \cdot 7 - 0,08 \cdot 7 - 0,07 \cdot 7}{5} = 1,11$$

С учетом  $H_{об.}$ , количества аппаратов и числа смен в сутки последовательно определяется явочный состав рабочих в смену (Ляв.См) и в сутки (Ляв), штатный и списочный составы (Лшт и Лсп).

$$Л_{яв.см} = m/H_{об.}, \quad (4.8)$$

где  $m$  – число обслуживаемых аппаратов.

$$Л_{яв.см} = 1/1,11 = 0,9 = 1 \text{ чел.}$$

Таким образом, колонну К-2 так же, как и в базовом варианте, обслуживает один аппаратчик – штат сотрудников остался неизменным.

Явочный состав рабочих в сутки:

$$Л_{яв} = Л_{яв.см} \cdot n_c, \quad (4.9)$$

где  $n_c$  – число смен в сутки.

$$Л_{яв} = 1 \cdot 3 = 3 \text{ чел.}$$

Штатный и состав рабочих:

$$Л_{шт} = Л_{яв} + Л_{яв.см}; \quad (4.10)$$

$$Л_{шт} = 3 + 1 = 4 \text{ чел.}$$

$$Л_{сп} = Л_{шт} \cdot K_{сп}, \quad (4.11)$$

где  $K_{сп}$  – коэффициент списочного состава,

$$K_{сп} = B_H/B_{эфф.дн}. \quad (4.12)$$

$$K_{сп} = 274/235 = 1,17$$

$$Л_{сп} = 4 \cdot 1,17 = 4,68,$$

Принимаем списочный состав рабочих, округлив в большую сторону до 5 человек. Численность производственных рабочих при повышении производительности оборудования не изменилась и осталась равной базовой.

#### 4.2.2 Расчёт фонда заработной платы рабочих

Расчет фонда заработной платы рабочих проводится отдельно для групп основных и вспомогательных рабочих, причем из числа вспомогательных

рабочих следует выделить дежурный и ремонтный персонал. Фонд заработной платы ИТР, служащих и МОП рассчитывался на основании штатной численности этих работников, их должностных окладов ( $D_{OKL}$ ) и оплаты за работу в праздничные дни ( $\Phi_{ЗП_{ПР}}$ ).

Рассмотрим в качестве примера расчет фонда заработной платы лаборанта.

Годовой фонд заработной платы по окладам ( $\Gamma\Phi_{OKL}$ ) определяется следующим образом:

$$\Phi_{зпг} = L_{шт} * D_{OKL}, \quad (4.13)$$

где  $L_{шт}$  – штатная численность работников, чел.

12 – количество месяцев в году;

Доплаты за работу в праздничные дни предусматриваются только для работников, занятых посменно в производствах с непрерывным режимом работы (т.е. для всех ИТР, служащих и МОП, кроме начальника установки и технолога работающих по графику 5/2) [46, 47]:

$$П = D_{OKL}/20,9 * D_{ПР} * L_{ЯВ}, \quad (4.14)$$

где 20,9 – среднее число дней работы в месяц одного работника,

$D_{ПР}$  – число праздничных дней в году;

Размер премии, выплачиваемой из фонда заработной платы за работу в ночные и праздничные дни ( $\Delta\Phi_{ЗП_{ПРЕМ}}$ ), принят равным 30%, тогда:

$$O_H + O_{П} = \Phi_{зпг} * 60/100, \quad (4.15)$$

Тогда годовой фонд заработной платы составит ( $\Phi_{ЗПО}$ )

$$\Phi_{зпо} = \Phi_{зпг} + П + O_H + O_{П} \quad (4.16)$$

Количество рабочих и служащих остается прежним, перевод установки на усиленный режим не требует увеличения численности.

Сводная таблица по труду и заработной плате составлена согласно данным за 2015 год на УПН-100.

Фонд заработной платы по сравнению с данными на 2015 год, в 2019 году увеличился на 25%.

Таблица 4.4 – Сводные характеристики по труду

Категория работников	Списочная численность		ПТ, т/чел	Полный годовой фонд зар. платы, тыс.руб.	Полный годовой фонд зар. платы, тыс.руб. на 1 чел.
	Чел.	%			
1 Рабочие – всего					
в том числе:	31	81,58	59016,8	7364,53	237,57
Основные	13	34,21	117277	3298,80	253,75
вспомогательные	18	47,37	-	4065,73	225,87
из них:					
-дежурный и ремонтный персонал	14	-		3149,93	253,75
-прочие вспомогательные рабочие	4	-	-	915,80	253,75
2. Руководители, специалисты и другие служащие	7	18,42		1798,73	256,96
<b>Итого:</b>	<b>38,00</b>	<b>100,0</b>	<b>40121</b>	<b>9163,26</b>	<b>241,14</b>

### 4.3.3 Обоснование производственной мощности

Производительность труда рассчитывается в натуральном выражении как выработка в год на одного рабочего ( $ПТ_P$ ), на одного основного рабочего ( $ПТ_{OP}$ ) и на одного работающего в целом ( $ПТ$ ).

$$ПТ = Q / \Lambda_{сп} , \quad (4.17)$$

где:  $Q$  – годовой выпуск продукции, составляющий для установки 1-В по данным предприятия 1700 т/сутки;

Мощность производства составит в год:

$$M = K \cdot B \cdot П, \quad (4.18)$$

где  $K$  – количество однотипного оборудования (расчет на одну линию);

$B$  – максимально возможный годовой фонд времени работы линии, 8400 час.;

$П$  – производительность одной единицы оборудования за час. в натуральном выражении 100 тыс. тонн в год при максимальной производительности оборудования 120 тыс. тонн в год.

$\Lambda_{сп}$  – списочная численность, чел.

В дипломном проекте обоснована возможность повышения производительности установки переработки нефти с номинальных значений 100 тыс. тонн в год до максимальных 120 тыс. тонн в год. Повышение

производительности потребует модернизации имеющегося комплекса средств автоматизации производства. Номинальная производительность колонны по отбензиненной нефти при производительности установки 100 тыс. тонн в год составляет 7572,873 кг/ч или 63612,13 тонн/год, как было определено ранее в разделе 3. Базовая производительность аппарата К-2 по бензиновой, керосиновой и дизельной фракциям соответственно составит 71,40 кг/ч, 2010,467 кг/ч и 1168,52 кг/ч.

Следовательно, проектная производительность составит:

$$M_{\text{проект}} = 1,2 \cdot 7572,873 = 9087,45 \text{ кг/ч} = 76334,56 \text{ тонн/год}$$

Проектная производительность аппарата К-2 по бензиновой, керосиновой и дизельной фракциям соответственно составит 85,68 кг/ч, 2412,56 кг/ч и 1402,22 кг/ч. В проекте последовательная технологическая цепь, поэтому определим мощность ведущего участка переработки нефти.

#### 4.3.4 Расчет себестоимости продукции и основных показателей

Рассчитаем основные расходы при производстве продукции.

Таблица 4.5 – Расчет общецеховых расходов

Наименование статей расходов	Исходные данные для расчета	Сумма, тыс. руб.
Содержание цехового персонала:		
-основная и дополнительная заработная плата; руководителей, служащих и др. специальностей;		1798,73
-основная и дополнительная заработная плата прочих вспомогательных рабочих;		915,8
- отчисления на социальные нужды	30% от двух предыдущих фондов заработной платы	814,36
Содержание зданий и сооружений	2% сметной стоимости зданий и сооружений	888,45
Ремонт зданий и сооружений	6% от сметной стоимости зданий и сооружений	9941,36
Амортизация зданий и сооружений	Годовая сумма амортизационных отчислений	29824,08
Расходы по охране труда	20% от фонда заработной платы всех трудящихся	49706,80
<b>Итого</b>		<b>1832,65</b>
Прочие цеховые расходы	25% от суммы всех предыдущих затрат	95722,23
<b>Итого</b>		<b>23930,56</b>

Таблица 4.6 – Сводные характеристики по затратам электроэнергии. Калькуляционная единица – 1 т.

Статьи затрат	Единицы измерения	Удельная норма расхода, кВт·ч		Расход на выпуск годовой продукции, кВт·ч		Цена единицы ресурса, руб. **	Затраты на единицу продукции (кВт/ед. прод.)		Затраты на годовой выпуск продукции (тыс. руб.)		Изменение затрат на единицу продукции, руб
		Б*	П*	Б	П		Б*	П	Б	П	
Электроэнергия	кВт/ч	763,50	760,00	48567,86	58014,27	3,80	2901,30	2888,00	184,56	220,45	-50,54

\* Б – показатели базового проекта, П – показатели предложенного проекта.

\*\* расчет ведется по одноставочному тарифу по цене 3,8 руб/кВт·ч. Удельная норма расхода электроэнергии снижается на 5% в результате действия эффекта масштаба.

Таблица 4.7 – Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования

Наименование статей расходов	Исходные данные для расчета	Сумма, тыс. руб.
Основная и дополнительная заработная плата дежурного и ремонтного персонала	Сводная табл. по труду и заработной плате (см. таблицу 18).	1798,73
Отчисления на социальные нужды	34% от заработной платы дежурного и ремонтного персонала	915,8
Содержание производственного оборудования	2% от сметной стоимости оборудования	814,36
Ремонт производственного оборудования	6% от сметной стоимости оборудования	888,45
Амортизация производственного оборудования	Годовая сумма амортизационных отчислений	9941,36
Прочие расходы, связанные с содержанием и эксплуатацией оборудования	10% от суммы всех предыдущих затрат по данной смете	29824,08
Итого		49706,80

Таблица 4.8 – Калькуляция себестоимости. Калькуляционная единица – 1 т. продукта – переработанной нефти

Наименование статей затрат	Единицы измерения	Планово-заготовительная цена ед., руб.	Затраты на годовой выпуск продукции		Затраты на калькуляционную единицу	
			Базовый (тыс.руб.)	Проектные тыс. руб.	Базовый (тыс.руб.)	Проектные тыс. руб.
1. Материальные расходы						
Сырье	т	7000,00	445284,93	534341,92	7,00	7,00
Материалы	до 25% от стоимости сырья					
2. Расходы энергоресурсов						
а) топливо	т	14750	118000,00	141600,00	0,59	0,59
б) пар	г/кал	2500	2000,00	2400,00	0,03	0,03
в) вода оборотная	т.м	2500	200,00	240,00	0,00	0,00
г)электроэнергия	кВт/ч	3,8	184,56	220,45	0,00	0,00
д) сжатый воздух	м <sup>3</sup>	0,4	32,00	38,40	0,00	0,00
Итого	тыс. руб.		565701,49	678840,77	8,89	8,89
3. Расходы на оплату труда						
3.1 Основная и дополнительная заработная плата	тыс. руб.		3298,80	3298,80		
3.2 Отчисления на социальные нужды	тыс. руб.		1121,59	1121,59	0,02	0,01
4. Амортизационные расходы	тыс. руб.		119652,79	119652,79	1,88	1,57
5. Расходы на основное и дополнительное страхование имущества						
Итого цеховая с/с			689774,67	802913,95	10,84	10,52
в том числе:	тыс. руб.				0,00	0,00
расходы на передел			244489,74	268572,03	3,84	3,52
Работы по модернизации оборудования (10% от сметной стоимости оборудования)	тыс. руб.		0,00	12021,90		
Общехозяйственные расходы (30% от расходов на передел)	тыс. руб.		73346,92	80571,61	1,15	1,06
Прочие производственные расходы (2% от затрат по предыдущим статьям)	тыс. руб.		13795,49	16298,72	0,22	0,21
Итого производственная себестоимость	тыс. руб.		776917,08	911806,18	12,21	11,94
Коммерческие расходы (2% от производственной себестоимости)	тыс. руб.		15538,34	18236,12	0,24	0,24
Полная себестоимость продукции	тыс. руб.		792455,42	930042,30	12,46	12,18
Оптовая цена предприятия (+20%)	тыс. руб.		950946,51	1116050,76	14,95	14,62
Стоимость отогнанной фракции					34,83	34,06

Далее рассчитаем капитальные затраты на модернизацию оборудования за счет введения системы автоматизированного контроля параметров технологического процесса.

В ходе выполнения дипломного проекта были выбраны современные технические средства автоматизации, разработана функциональная схема автоматизации и схема управления на основе микропроцессорного контроллера П\ASERIESFieldControlProcessor. В специальном разделе было предложено установить каскадную САУ. Рассчитаем в таблице 23 стоимость предложенного оборудования, а также размер амортизационных отчислений при норме, принятой равной  $H_A = 5\%$  по формуле:

$$C_A = H_A \cdot K_{об} / 100 \quad (4.21)$$

Амортизационные отчисления учтены в таблице 22 при определении себестоимости продукции.

Таблица 4.9 – Расчет суммы капитальных вложений в проект

Наименование	Стоимость единицы оборудования с НДС, тыс.руб.	Количество шт.	Стоимость оборудования, тыс.руб.	Амортизационные отчисления, тыс.руб.
Анализатор SIEMENSULTRAMAT 6	14,6	2	29,2	1,46
Контроллер МФК3000	400	1	400	20
ПО SCADA КРУГ-2000	20	3	60	3
Контроллер П\ASERIES Field Control Processor	250	1	250	12,5
Сумма			739,2	36,96

Расходы на доставку примем равными 20% от закупочной стоимости оборудования:

$$K_{д.} = 0,2 \cdot \sum K_{об} \quad (4.22)$$

$$K_{п.н.} = 0,2 \cdot 739,2 = 147,84 \text{ тыс.руб.}$$

Расходы на монтаж и пуско-наладочные работы составляют 10-15% от стоимости оборудования:

$$K_{п.н.} = 0,15 \cdot \sum K_{об} \quad (4.23)$$

$$K_{п.н.} = 0,15 \cdot 739,2 = 110,88 \text{ тыс.руб.}$$

Упущенная выгода от приостановки производства на период монтажных работ равна прибыли от продажи произведенной продукции за указанный период.

$$K_{у.в.} = T/365 \cdot П_б \quad (4.24)$$

где  $T$  – время проведения монтажных работ, равное 1 день.

$П_б$  – годовая прибыль по базовому проекту.

В рамках данного проекта указанная статья расхода не учитывается, так как переоснащение АСУП предлагается произвести во время остановки производства на планово-профилактические ремонтные работы.

Общая стоимость модернизации в таком случае составит:

$$K = K_{об} + K_d + K_{п.н.} + K_{у.в.} \quad (4.25)$$

$$K = 739,2 + 147,84 + 110,88 = 997,92 \text{ тыс.руб.}$$

Общая эффективность капитальных вложений может быть определена по формуле

$$\mathcal{E}_{кв} = \frac{\Delta\Pi}{K} = \frac{(C_1 - C_2) \cdot O}{K} \quad (4.26)$$

где  $\mathcal{E}_{кв}$  – общая эффективность капитальных вложений;

$\Delta\Pi$  – прирост прибыли за счет вложения инвестиций;

$K$  – капитальные вложения.

$C_1$  и  $C_2$  – себестоимость продукции до и после вложения инвестиций;

$O$  – объем выпуска продукции после использования капитальных вложений.

$$\mathcal{E}_{кв} = \frac{(40,59 - 40,55) \cdot 600950}{997,92} = 24,25 \text{ тыс.руб. / тыс.руб.} > 0$$

Следовательно, проект экономически эффективен

Срок окупаемости капитальных вложений составит:

$$C_o = \frac{K}{\Delta\Pi} = \frac{K}{(C_1 - C_2) \cdot O} \quad (4.27)$$

$$C_o = \frac{997,92}{(40,59 - 40,55) \cdot 600950} = 0,04 \text{ лет}$$

Таблица 4.10 – Техничко-экономические показатели проекта

№№	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя		Изменение показателя	
			По базовому проекту	По проекту	Абс.	Отн.
1	Годовой выпуск продукции	т	63612,13	76334,56	12722,43	20,00
		тыс.руб.	950946,51	1116050,76	165104,25	17,36
2	Капитальные вложения	тыс.руб.	0	997,92		
3	Удельные капитальные вложения	тыс.руб.		0,0131		
4	Численность персонала	чел.	38	38	0,00	0,00
5	Производительность труда	т/чел	1674,00	2008,80	334,80	20,00
		тыс.руб./чел.	25024,91	29369,76	4344,85	17,36
6	Средняя заработная плата	тыс.руб./чел.	20,09	20,09	0,00	0,00
7	Себестоимость					
	- единицы продукции	тыс.руб.	12,46	12,18	-0,27	-2,20
	- всей продукции	тыс.руб.	792455,42	930042,30	137586,88	17,36
8	Цена	тыс.руб.	14,95	14,95	0,00	0,00
9	Прибыль:					
	– валовая	тыс.руб.	158491,08	211093,51	52602,42	33,19
	– на ед. продукции	тыс.руб.	2,49	2,77	0,27	10,99
10	Рентабельность:	%				
	- продукции		20,00	22,70	2,70	13,49
	-производственных фондов		0,26	0,34	0,09	33,19
11	Срок окупаемости капитальных вложений	мес.		0,05		
12	Фондоотдача	руб./руб.	1,54	1,81	0,27	17,36
13	Годовой экономический эффект	тыс.руб.	-	20754,52		

За счет оптимизации режима процесса возможно увеличить производительность установки примерно до 120% или 5950 тысяч тонн в год.

Валовая прибыль вырастет с 158491,08 тыс.руб./год до 211093,51 тыс.руб./год или на 52602,42 тыс.руб./год (33,19%).

При этом за счет эффекта масштаба произойдет увеличение рентабельности продукции на 13,49%, а рентабельности производственных фондов на 33,19%. Экономическая эффективность предлагаемых мероприятий составляет 20754,52 тысяч рублей при сроке окупаемости 0,05 лет, так как капитальные вложения сравнительно малы.

## 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2к41	Вписать

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

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является проведение проверочного технологического и механического расчета колонны атмосферной перегонки нефти К-2 установки УПН-100. Колонный аппарат предназначен для разделения отбензиненной нефти на бензиновую, керосиновую, дизельную фракции и мазут.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p>1. <b>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс РФ; нормативно-техническая документация, регламентирующая правила хранения, монтажа и эксплуатации рассчитываемого колонного аппарата К-2</p>
<p>2. <b>Производственная безопасность</b></p>	<p>Характеристика опасных и вредных факторов производства</p>
<p>3. <b>Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b></p>	<p>Рассмотрение</p>

	вопросов пожарной безопасности на производстве
4. Экологическая безопасность:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Загрязнение почвы нефтепродуктами</li> <li>2. Попадание нефтепродуктов в гидросферу</li> <li>3. Выбросы вредных и токсичных веществ в атмосферу</li> </ol>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Немцова О.А.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К41	Зудилин Александр Сергеевич		

## 5.1 Вредные и опасные факторы технологического процесса

Работа технологической установки первичной перегонки нефти сопряжена с рядом следующих опасных факторов:

- воздействие на органы дыхания паров токсичных веществ, приводящее к кислородному голоданию, удушью самочувствия и отравлению;
- образованию взрывоопасной смеси, способной воспламеняться под действием высоких температур или открытого источника зажигания;
- механические травмы;
- поражение электротоком;
- обморожение и ожоги.

На данном производстве вредными производственными факторами могут быть температура, влажность, подвижность воздуха, а также неионизирующие электромагнитные излучения, производственный шум, вибрация, факторы трудового процесса, характеризующие тяжесть труда, воздействие на организм работающих токсичных веществ.

В зависимости от количественной характеристики и продолжительности действия отдельные вредные производственные факторы могут стать опасными.

Опасными могут быть следующие факторы:

- движущиеся машины и механизмы;
- подъемно-транспортные устройства и перемещаемые грузы;
- электрический ток; повышенная температура поверхности оборудования и обрабатываемых материалов;
- повышенные уровни излучений (например, ионизирующих);
- агрессивные жидкости (например, кислоты, щелочи);
- повышенные концентрации высокотоксичных паров и газов в воздухе;
- работы на значительной высоте от уровня пола и другие.

Основными мероприятиями обеспечивающие безопасное ведение технологических процессов с организационной стороны являются:

- выполнение правил технической эксплуатации аппаратов, машин, зданий, сооружений;
- предупреждение образования взрывоопасных концентраций нефтепродуктов в аппаратах, помещениях, на территории установки;
- соблюдение правил техники безопасности, охраны труда, трудовой дисциплины и личной гигиены обслуживающим персоналом;
- обеспечение нормального ведения технологического процесса, предупреждение аварийных ситуаций и ликвидация возникших аварий.

К основным техническим мероприятиям по обеспечению безопасного производства работ относятся:

1. Устройство и применение коллективных средств защиты.
2. Механизация и автоматизация производства.

3. Рациональное устройство рабочих мест с выполнением требований и норм по расстановке оборудования, обеспечение здоровых и безопасных условий труда. К средствам коллективной защиты относятся оградительные, предохранительные и тормозные устройства; сигнализация об опасности; разрывы и габариты безопасности; средства дистанционного управления; специальные средства безопасности. В случае появления признаков поражения организма под действием токсичных веществ: утомляемости, вялых движениях, тошноте, головных болях, необходимо принять меры по эвакуации персонала, оказанию пострадавшему первой помощи и сообщить о происшествии руководству.

Характеристика пожароопасных и токсичных продуктов присутствующих на объекте представлена в таблице 5.1.

Для защиты от накопления и проявления зарядов статического электричества все оборудование и трубопроводы должны быть заземлены. Отвод зарядов статического электричества при наливке бензина и газойля в автоцистерны достигается созданием непрерывной цепи заземления.

Таблица 5.1 – Характеристика пожароопасных и токсичных продуктов

Продукт	ПДК,	Температура, °С	Пределы взрываемости	Действие на организм
---------	------	-----------------	----------------------	----------------------

	мг/м						человека
		t <sub>всп</sub>	t <sub>восп</sub>	t <sub>свсп</sub>	Нижний	Верхний	
Топливный газ	300				1,3	1,5	Наркотическое и удушающее.
Нефть	300	<0		>500			Пары и газы оказывают наркотическое действие. Вызывает кожные заболевания.
Бензиновая фракция	100	-2739	-8-39	255-370	1,0	6,0	Пары действуют наркотически вызывают кожные заболевания.
Атмосферный газойль	300	50-65		340-400	1,4	6,0	Низкая испаряемость, пары действуют наркотически. Действие слабее, чем у бензина
Мазут	300	>150		340-380			То же

Опасным фактором является относительно высокое давление, под которым транспортируется газ, вода, масло.

Ожидаемый уровень шума от работы установки не превышает 80 дБА, в помещении операторной – 60 дБА, что удовлетворяет требованиям государственного стандарта, поэтому дополнительная защита от шума в проектируемом производстве не требуется.

Защита от вибрации, генерируемой вращающимися деталями оборудования, предусмотрена при его изготовлении.

Вследствие этого ожидаемые параметры вибрации не превышают установленных норм.

## 5.2 Пожарная безопасность на предприятии

Установка переработки нефти состоит из отдельных блоков. Разрыв между блоками, а также расположение аппаратов принимаются в соответствии с «Противопожарными нормами проектирование предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности» (ВНТП – 28 – 79).

Помещения горячей и холодной насосной оборудованы стационарными системами пенотушения с непосредственным подключением передвижной пожарной техники в случае загорания.

Характеристика используемых реагентов приведена в таблице 5.2.

Сведения о вреде применяемых веществ представлены в таблице 5.3

Таблица 5.2 – Используемые реагенты

Наименование сырья	Агрегатное состояние	Класс опасности	Температура, °С			Характеристика
			t <sub>всп</sub>	t <sub>восп</sub>	t <sub>свсп</sub>	
Теплоноситель «Даутерм Q»	жидкий	4	120	123	441	Жидкий теплоноситель, смесь алкилированных ароматических углеводородов с дифенилэтаном, малотоксичный, некоррозионный, разлагается под действием бактерий.
Дезэмульгаторы: Кемеликс3398Х (Ай-Си-Ай, Англия)	жидкий	4	62		470	Раствор дезэмульгатора в ароматическом растворителе. Оказывает действие на глаза, кожу, систему дыхания.
Сепарол-5271 (БАСФ, Германия)	жидкий	4				Соединение на базе неионогенных, ПАВ производных окисей алкиленов. Растворим в спиртах и ароматических растворителях.
Дисольван V-2830 (ХехстГермания)	жидкий	3	11			Неионогенные ПАВ в растворе смеси метанола и ксилола.

Таблица 5.3 – Группы и категории взрывоопасности применяемых продуктов по ГОСТ 12.1.011-76.

Наименование веществ, образующих взрывоопасную смесь с воздухом	Категория, группа взрывоопасности смеси
Нефтяной газ (метан)	II, А-Т1
Нефть сырая	II, А-Т3
Бензиновая фракция	II, А-Т3
Дизельное топливо	II, В-Т3

В насосных блоках, в трубчатых печах и в колонне окисления установлена автоматическая система пожаротушения.

Помещения оборудованы приточно-вытяжной и аварийной вентиляциями. В случае простоя основной рабочей вентиляции автоматически включается аварийная, установленная из расчета удаления всего воздуха из помещения за 10 минут.

Организована пожарная охрана объекта. Все производственные помещения оснащены средствами пожаротушения – водой, песком, углекислотными огнетушителями.

### **5.3 Защита окружающей среды**

В данной местности преобладает ветер северо-западного направления. С учетом «розы ветров» оборудование участка первичной перегонки нефти возведено на возвышенности юго-восточнее города, поэтому возможность попадания газов на город минимальна.

Снижение количества вредных веществ, попадающих в почву, водоемы и атмосферу достигается при правильной организации и проведении технологического процесса, ремонтных работ, при соблюдении параметров технологического режима, при утилизации жидких и твердых отходов:

- сжигание отработанных масел,
- очистка сточных вод на локальных очистных сооружениях,
- вывоз жидких не утилизируемых отходов на шламоотвал,
- сжигание сдувок (углеводородов) из аппаратов,
- вывоз и обезвреживание твердых отходов на полигоне захоронения промышленных отходов.

На установке предусмотрен ряд мероприятий по предотвращению и ликвидации последствий аварийных (залповых) выбросов в атмосферу.

Процесс ректификации происходит в герметически закрытых аппаратах. При повышении давления в колоннах выше установленного, срабатывает система блокировки при которой закрываются клапана на линии подачи пара в кипятильники.

В случае аварийной разгерметизации оборудования и трубопроводов в насосном отделении установлены сигнализаторы. Аварийная сигнализация срабатывает при достижении концентрации равной 20 % от нижнего предела взрываемости водорода, одновременно с аварийной сигнализацией включается в работу аварийная вентиляция.

Для обеспечения экологической безопасности на предприятии ежегодно выполняются мероприятия по охране окружающей среды:

- по уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу;
- по уменьшению сбросов сточных вод в водоемы и на рельеф местности;
- по уменьшению загрязнения почвы;
- по рациональному использованию природных ресурсов.

К основным веществам, загрязняющим атмосферу, относятся оксиды серы, азота, углерода, сероводород, углеводороды, механические взвеси. Они оказывают вредное влияние на человека и на окружающую среду.

На НПЗ происходят сбросы углеводородов в атмосферу.

К ним относится испарение нефти и нефтепродуктов с открытых поверхностей очистных сооружений.

Утечка жидкости и паров также происходит из фланцев, насосов и особенно компрессоров.

Обычно предохранительные клапаны сбрасывают газообразные углеводороды на факел. Но при перегрузке последнего их сбрасывают в атмосферу.

Загрязняют атмосферу и оборотные воды при уносе и испарении с градиен.

Сточные воды от барометрических конденсаторов, сбросы с охлаждающей воды из конденсаторов смешения паров, технологические конденсаторы после установки АТ являются источниками загрязнения атмосферы углеводородом.

Большое количество легких углеводородов уходит в атмосферу через специальные дыхательные клапаны, открытые люки, возможные неплотности в кровле резервуаров при наливе и сливе нефти.

Таблица 5.4 – Характеристика выбросов в атмосферу ООО «Кинэф»

Наименование выброса	Объем выбросов, м <sup>3</sup> /с	Периодичность	Установленная норма содержания загрязнений в выбросах в атмосферу,
Выбросы дымовой трубы печей П-1/1, Т-1А, Т-1В	90,3	постоянно при работе установки	сернистый ангидрит-1816,28 оксид углерода-39,74 оксид азота-357, диоксида азота-18,72 взвешенные вещества-8,96
Выбросы дымовой трубы печи П-2	14,85	постоянно при работе установки	сернистый ангидрит-338,10 оксид углерода-15,36 оксид азота-3 3,12 взвешенные вещества-2,88 пятиокись ванадия-2,55 , углеводороды-0,032
Вентиляционные выбросы водяной насосной	2,4	постоянно	углеводороды (сумма)-0,017 аммиак-0,052
Неорганизованные выбросы через неплотности оборудования		постоянно	углеводороды (сумма)-1770,21 бензол-5,15 толуол-22,18 ксилолы-14,83
Выбросы резервуарного парка: резервуар №229		постоянно	углеводороды (сумма)-2461,09 бензол-4,32 толуол-6,05
Выбросы резервуарного парка: резервуары №233-234		постоянно	углеводороды(сумма) – 361,9 бензол-1,5 толуол-1,4 ксилолы-0,3 сероводород – 0,03
Неорганизованные выбросы аппаратного двора		сварочные работы при ремонте установки	пыль аэрозоли-0,01 марганец и его оксиды-0,00056 оксиды хрома-0,000085 соединения кремния-0,0007 фториды-0,0007 фтористый водород-0,0005
		Лакокрасочные работы вне помещения	уайт-спирит-0,771 сольвент-0,145 ксилолы-0,140 взвешенные вещества-0,120

Расход свежей воды, потребляемой в производстве, зависит от схемы водоснабжения завода от степени использования в ней оборотной воды, очищенных производственных сточных вод и осадков, выпадающих на территории завода.

Сточные воды обладают высокой токсичностью, поэтому правильно организованная система канализации имеет большое значение для охраны окружающей среды.

Количество и состав сточных вод зависят от правильности выполнения экологических мероприятий на установках.

Таблица 5.5. Характеристика сточных вод

Наименование стока	Объем, м <sup>3</sup> /ч	Условия ликвидации, утилизации	Периодичность	Место сброса
Стоки ЭЛОУ	100	Очистные сооружения	постоянно	На узел захлаживания стоков ЭЛОУ на установке АВТ-6 и далее во II-ю систему промканализации
Стоки с отстойников Е-1А, Е-3	18	Очистные сооружения	постоянно	В промышленную ливневую канализацию I-ой системы
Вода после охлаждения сальников насосов,	9	Очистные сооружения	постоянно	В промышленную ливневую канализацию I-ой системы
Стоки сырьевого парка	9	Очистные сооружения	постоянно	В промышленную ливневую канализацию I-ой системы

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был произведен расчет ректификационной установки для выделения низкокипящей фракции нефти.

Понятием «ректификация» обозначают процесс разделения гомогенных бинарных и многокомпонентных смесей летучих жидкостей за счет двустороннего массообмена и теплообмена между неравновесными газообразной (паровой) и жидкой фазами, движущимися противоположно друг другу и имеющими различную температуру.

В дипломном проекте предложен вариант реконструкции изношенной колонны К-2 установки УПН-100.

При разработке проекта выполнены следующие основные задачи:

- рассмотрен технологический процесс первичной переработки нефти, протекающий в установке УПН-100;
- произведен механический расчет колонны К-2 с диаметром нижней части 1,4 м, диаметром верхней части 1,4 м и высотой колонны 23,15 м (без учета опоры);
- проведен подбор материала колонны, проведены поверочные расчеты толщины обечайки, крышки и днища аппарата, равной 10 мм, проведены расчеты укреплений отверстий в штуцерах и проверена устойчивость аппарата под действием ветровых нагрузок;
- в проекте рассмотрены существующие мероприятия по увеличению производственной безопасности при обслуживании колонны К-2.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.
2. Гидродинамика насадочных аппаратов: методические указания / Сост. С.В. Иваняков, С.Б. Коныгин. – Самара; Самарский государственный технический университет, 2008. – 44 с.
3. ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия
4. ГОСТ 25054-81 Поковки из коррозионно-стойких сталей и сплавов. Общие технические условия
5. ГОСТ 34233.10-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты, работающие с сероводородными средами
6. ГОСТ 34233.11-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Метод расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек
7. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
8. ГОСТ 34233.12-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Требования к форме представления расчетов на прочность, выполняемых на ЭВМ
9. ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек
10. ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер

11. ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений
12. ГОСТ 34233.5-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок
13. ГОСТ 34233.6-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках
14. ГОСТ 34233.7-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты
15. ГОСТ 34233.8-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками
16. ГОСТ 34233.9-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Аппараты колонного типа
17. ГОСТ 34283-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность при ветровых, сейсмических и других внешних нагрузках
18. ГОСТ 34347-2017 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия
19. ГОСТ 481-80 Паронит и прокладки из него. Технические условия.
20. ГОСТ 5949-75 Сталь сортовая и калиброванная коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические условия
21. ГОСТ 8479-70 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия
22. ГОСТ Р 51273-99 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий.
23. Дахин О.Х. Машины и аппараты химических и пищевых производств: Курс лекций. – Волгоград: Издательство ВолгГТУ, 2011. – 161 с.
24. Коптев А.А. Фланцевые соединения: конструкции, размеры, расчёт на прочность: методические указания / сост. : В.Б. Коптева, А.А. Коптев. Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 24 с.

25. Леонтьев, А. П. Прочностные расчеты отдельных элементов технологического оборудования: учебное пособие / А. П. Леонтьев, А. Г. Мозырев, А. Н. Гребнев, С. Г. Головченко. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – 144 с.
26. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов. – Л.: Химия, 1987. – с. 548-550, 172.
27. Паушкин Я.М., Адельсон С.В., Вишнякова Т.П. Технология нефтехимического синтеза. – М.: Химия, 1985. – 448 с.
28. Паспорт сосуда, работающего под давлением на колонный аппарат К-2 (колонна ректификационная 016.01.00.000) установки УПН-100. – Белгород: ООО «Белэнергомаш», 2008. – 68 с.
29. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справ. Изд.: в 2-х книгах/ Под. Ред. А. Н. Баратова, А. Я. Корольченко. М.: Химия, 1990. – 496с.
30. Положение об обеспечении безопасности производственного оборудования. ПОТ РО – 14000 – 002 – 98. М., 1998. – 25 с.
31. Попилов Л.Я. Советы заводскому технологу. – Л.: Лениздат, 1985 – 264с.
32. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии / А.И. Скобло, Ю.К. Молоканов. А.И. Владимиров. В.А. Щелкунов 3-е изд. перер. и доп. – М.: ООО «НедраБизнесцентр», 2010. – 677 с.
33. Рудин М. Г., Драбкин А. Е. Краткий справочник нефтепереработчика. – Л.: Химия, 1980. – 328 с.
34. Савельев А.Л. Технологический расчёт отбензинивающей колонны установок перегонки нефти Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. – Тюмень: Нефтегазовый университет, 2003. – 37 с.
35. Савченков А.Л. Технологический расчет атмосферной колонны. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2001. – 35 с.

36. Савченков А.Л. Технологический расчет установки атмосферной перегонки нефти. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2006. – 98 с.
37. Савченков А.Л. Химическая технология промышленной подготовки нефти: учебное пособие / А. Л.. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 180 с.
38. Семакина О.К., Машины и аппараты химических производств: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 127 с.
39. Сепарационные колонны для дистилляции и абсорбции Зульцер-Хемтех. Каталог. – М.: Химическое и нефтяное машиностроение, 1993. – 28 с.
40. Справочник нефтехимика в 2 т. – т.1 / Под ред. Огородникова С.К. – Л.: Химия, 1978. – 496 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Листинг программы механического расчета колонны К-2

Выбор материала и допускаемых напряжений

Выбрана сталь 09ГС2

$$\sigma := 108 \text{ МПа}$$

Выбор расчетного давления

$$P_{\text{раб}} := 0.1 \text{ МПа}$$

$$\rho := 1000 \text{ кг / м.куб}$$

$$H := 23.25 - 0.90 = 20.925 \text{ м}$$

$$P_{\text{г}} := \frac{\rho \cdot 9.81 \cdot H}{10^6} = 0.205 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{расч}} := P_{\text{раб}} + P_{\text{г}} = 0.305 \text{ МПа}$$

Расчет корпуса аппарата

$$D_{\text{в}} := 1.4 \text{ м} \quad D_{\text{н}} := 1.4 \text{ м} \quad \varphi := 1$$

$$s_{\text{p}} := \left( \frac{P_{\text{расч}} \cdot D_{\text{н}} \cdot 10^6}{2 \cdot \sigma \cdot 10^6 \cdot \varphi - P_{\text{расч}} \cdot 10^6} \right) = 0.002 \text{ м}$$

$$\tau := 10 \text{ лет} \quad \Pi_1 := 0.1 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$$

$$c_1 := \tau \cdot \Pi_1 = 1 \text{ мм}$$

$$c_2 := 0.5 \text{ мм}$$

$$c_3 := 0$$

$$c := \frac{(c_1 + c_2 + c_3)}{1000} = 0.002 \text{ м}$$

$$s_1 := s_{\text{p}} + c = 0.003 \text{ м} \quad s_2 := 0.01 \text{ м}$$

$$P_{\text{д}} := \left[ \frac{2 \cdot \sigma \cdot 10^6 \cdot \varphi \cdot (s_2 - c)}{D_{\text{н}} + (s_2 - c)} \right] \cdot 10^{-6} = 1.304 \text{ МПа}$$

Расчет днища (крышки) аппарата

$$R_{\text{д}} := \left( \frac{D_{\text{н}}^2}{4 \cdot 0.25 \cdot D_{\text{н}}} \right) = 1.4 \text{ м}$$

$$s_{\text{д}} := \left( \frac{P_{\text{расч}} \cdot 10^6 \cdot R_{\text{д}}}{2 \cdot \sigma \cdot 10^6 \cdot \varphi - 0.5 \cdot P_{\text{расч}} \cdot 10^6} \right) = 0.002 \text{ м}$$

$$P_{\text{ДК}} := \left[ \frac{2 \cdot \sigma \cdot 10^6 \cdot \varphi \cdot (s_2 - c)}{R_{\text{д}} + 0.5(s_2 - c)} \right] \cdot 10^{-6} = 1.307 \quad \text{МПа}$$

Расчет укрепления отверстий

$$d_{15} := 558.5 \quad \text{кг / м.куб} \quad G_c := 7572.873 \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \quad w := 0.1 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$d_c := \sqrt{\frac{4 \cdot G_c}{3600 d_{15} \cdot 3.14 \cdot w}} = 0.219 \quad \text{м} \quad d := 0.3 \quad \text{м}$$

$$d_p := (d + 2c) \cdot 1000 = 303 \quad \text{мм}$$

$$s_{1\text{пш}} := \left( \frac{P_{\text{расч}} \cdot d_p \cdot 10^6}{2 \cdot \sigma \cdot 10^6 \cdot \varphi - P_{\text{расч}} \cdot 10^6} \right) = 0.429 \quad \text{мм} \quad s_{1\text{ш}} := 1 \quad \text{мм}$$

$$s_{1\text{п}} := s_{1\text{ш}} + c \cdot 1000 = 2.5 \quad \text{мм}$$

$$s_{1\text{и}} := 3 \quad \text{мм}$$

$$l_1 := 500 \quad \text{мм}$$

$$l_{1\text{п}} := 1.25 \cdot \sqrt{(d \cdot 1000 + 2 \cdot c \cdot 1000) \cdot (s_{1\text{и}} - c \cdot 1000)} = 26.649 \quad \text{мм}$$

$$l_3 := 80 \quad \text{мм}$$

$$l_3\text{п} := 0.5 \cdot \sqrt{(d \cdot 1000 + 2 \cdot c \cdot 1000) \cdot (s_{1\text{и}} - c - c_1)} = 12.304 \quad \text{мм}$$

$$L_0 := \sqrt{D_{\text{н}} \cdot 10^6 \cdot (s_2 - c)} = 109.087 \quad \text{мм}$$

$$s_{\text{к}} := 0.004 \quad \text{м}$$

$$l_2\text{п} := \sqrt{D_{\text{н}} \cdot 10^6 \cdot (s_{\text{к}} + s_2 - c)} = 132.288 \quad \text{мм}$$

$$\chi := 1$$

$$d_{0\text{п}} := 0.4 \cdot \sqrt{D_{\text{н}} \cdot 10^6 \cdot (s_2 - c)} = 43.63 \quad \text{мм}$$

$$\text{Модуль1} := \sqrt{d_p \cdot 10^3 \cdot (s_2 - c)} + \sqrt{0.903 \cdot 10^6 \cdot (s_2 - c)} = 138.359 \quad \text{мм}$$

$$Y_{\text{п1}} := l_{1\text{п}} \cdot (s_{1\text{и}} - s_{1\text{ш}} - c) \cdot \varphi + l_3\text{п} \cdot (s_{1\text{и}} - s_{1\text{п}}) + 10^3 L_0 \cdot (s_2 - s_1 - c) = 606.871 \quad \text{мм}$$

$$Y_{\text{п2}} := 0.5 \cdot (d_p - d_{0\text{п}}) \cdot s_1 \cdot 1000 = 451.481 \quad \text{мм}$$

$$Y_{\text{п3}} := Y_{\text{п1}} + s_{\text{к}} \cdot 1000 \cdot l_2\text{п} = 1136.021 \quad \text{мм}$$

$$V_{1\text{ч}} := \left[ 1 + \frac{[l_{1\text{п}} \cdot (s_{1\text{и}} - s_{1\text{ш}} - c \cdot 1000) \cdot \varphi + s_{\text{к}} \cdot 1000 \cdot l_2\text{п} + l_3\text{п} \cdot (s_{1\text{и}} - s_{1\text{п}})]}{[10^3 L_0 \cdot (s_2 - s_1 - c)]} \right] = 2.002$$

$$V_{13} := 1 + 0.5 \cdot \left( \frac{d_p - d_{0\text{п}}}{L_0} \right) + \left( \frac{d}{D_{\text{н}}} \right) \cdot \frac{l_{1\text{п}}}{L_0} = 2.241 \quad K_1 := 1$$

$$V_1 := \left( \frac{V_{1\text{ч}}}{V_{13}} \right) = 0.893 \quad V_{\text{МИН}} := 1$$

$$P_{\text{ДВ}} := \left[ \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (s_2 - c) \cdot K_1 \cdot V_{\text{МИН}}}{D_{\text{н}} + (s_2 - c) \cdot V_{\text{МИН}}} \right] = 1.304 \quad \text{МПа} \quad +$$

Определение нагрузок от собственного веса аппарата

$$\rho_{ст} := 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad h1 := 1.9 \quad \text{Нук} := 11 \quad \text{шт} \quad \text{Нисч} := 24 \quad \text{шт}$$

$$Hв := 7.76 \quad \text{м}$$

$$G_{уч} := 3.14 \cdot Dв \cdot s2 \cdot Hв \cdot \rho_{ст} \cdot 9.81 = 26269.879 \quad \text{Н}$$

$$h2 := 1 \quad \text{м} \quad h3 := 7.553 \quad \text{м}$$

$$Hн := 15.08 \quad \text{м}$$

$$G_{ич} := 3.14 \cdot Dв \cdot s2 \cdot Hн \cdot \rho_{ст} \cdot 9.81 = 51050.228 \quad \text{Н}$$

$$G_{кр} := 1.24 \cdot Dв^2 \cdot s2 \cdot \rho_{ст} \cdot 9.81 = 1871.615 \quad \text{Н}$$

$$G_{дн} := 1.24 \cdot Dн^2 \cdot s2 \cdot \rho_{ст} \cdot 9.81 = 1871.615 \quad \text{Н}$$

$$G_{тукр} := 830 \quad \text{Н} \quad G_{тисч} := 830 \quad \text{Н}$$

$$G_t := \text{Нук} \cdot G_{тукр} + \text{Нисч} \cdot G_{тисч} = 29050 \quad \text{Н}$$

$$F_{из} := 3.14 \cdot (Dв + 2 \cdot s2) \cdot Hв + 3.14 \cdot (Dв + 2 \cdot s2) \cdot Hн + 1.24 \cdot (Dв + 2 \cdot s2)^2 + 1.24 \cdot (Dв + 2 \cdot s2)^2$$

$$F_{из} = 106.84 \quad \text{м}^2 \quad s_{из} := 0.1 \quad \text{м}$$

$$G_{из} := F_{из} \cdot s_{из} \cdot 160 \cdot 9.81 = 16769.554 \quad \text{Н}$$

$$m_{пл} := 281 \quad \text{кг} \quad n_{пл} := 5 \quad \text{шт}$$

$$G_{л} := m_{пл} \cdot n_{пл} \cdot 9.81 = 13783.05 \quad \text{Н}$$

$$v := 4 \cdot \frac{0.1 \cdot G_{тукр}}{3.14} = 105.732 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

$$D_{нар} := Dв + 2 \cdot s_{из} + 2s2 + 2 = 3.62 \quad \text{м}$$

$$S_{пл} := \left( \frac{3.14}{4} \right) \cdot (D_{нар}^2 - Dв^2) = 8.748 \quad \text{м}^2$$

$$m_{пл} := v \cdot S_{пл} = 378.716 \quad n_{пл} := 5 \quad \text{шт}$$

$$G_{пл} := m_{пл} \cdot n_{пл} \cdot 9.81 = 18576.032 \quad \text{Н}$$

$$H_{рабср} := 1.5 \quad \text{м} \quad H_{оп} := 2.5 \quad \text{м}$$

$$G_{рабср} := H_{рабср} \cdot \left( \frac{Dн^2 \cdot 3.14}{4} \right) \cdot \rho \cdot 9.81 = 22640.499 \quad \text{Н}$$

$$G_{оп} := H_{оп} \cdot \rho_{ст} \cdot s2 \cdot 3.14 \cdot Dн \cdot 9.81 = 8463.234 \quad \text{Н}$$

$$G1 := G_{уч} + G_{ич} + G_{кр} + G_{дн} + G_t + G_{из} + G_{л} + G_{пл} + G_{рабср} + G_{оп}$$

$$G1 = 217140.197 \quad \text{Н}$$

$$V_H := 3.14 \cdot \left[ \left( \frac{D_B^3}{24} \right) + \left( \frac{D_B^2}{4} \right) \cdot H_B + \left[ \left( \frac{D_H^3}{24} \right) + \left( \frac{D_H^2}{4} \right) \cdot H_H \right] \right] = 35.86$$

$$G_2 := G_1 - G_{\text{рабср}} + \rho \cdot V_H \cdot 9.81 = 546282.74 \quad \text{Н}$$

$$G_3 := G_1 - G_{\text{рабср}} = 194499.698 \quad \text{Н}$$

$$G_4 := G_{\text{уч}} + G_{\text{ич}} + G_{\text{кр}} + G_{\text{дн}} + G_{\text{л}} + G_{\text{оп}} = 103309.621 \quad \text{Н}$$

$$D_{\text{нн}} := D_H + 2s_2 = 1.42 \quad \text{м} \quad K_0 := 0.063$$

$$D_{\text{нк}} := D_{\text{нн}} \cdot (1 + 1.35 \cdot K_0) = 1.541 \quad \text{м} \quad D_{\text{вн}} := D_B + 2s_2 = 1.42 \quad \text{м}$$

$$D_f := 1 + D_{\text{нк}} = 2.541 \quad \text{м}$$

$$I_f := \left( \frac{3.14}{64} \right) \cdot D_f^4 = 2.045 \quad \text{м}^4 \quad I_{01} := \left( \frac{3.14}{64} \right) \cdot \left[ (D_{\text{нн}})^4 - D_H^4 \right] = 0.011$$

$$H_{30} := 7.76 + 15.05 + 2.5 = 25.31 \quad \text{м} \quad H_{31} := 7.76 \quad \text{м} \quad H_{33} := 2.5 \quad \text{м}$$

$$H_{32} := 15.05 \quad \text{м} \quad E := 1.902 \cdot 10^{11} \quad \text{Па}$$

$$\Delta := \left( \frac{1}{3} \right) + \left( \frac{H_{32}}{H_{31}} \right) \cdot \left[ \left( \frac{1}{3} \right) \cdot \left( \frac{H_{32}}{H_{31}} \right)^2 + \frac{H_{32}}{H_{31}} + 1 \right] = 8.466$$

$$\lambda := \left( \frac{1}{3} \right) + \left( \frac{H_{33}}{H_{31}} \right) \cdot \left[ \left( \frac{1}{3} \right) \cdot \left( \frac{H_{33}}{H_{31}} \right)^2 + \frac{H_{33}}{H_{31}} + 1 \right] = 0.557$$

$$\mu := \left( \frac{H_{33}}{H_{32}} \right) \cdot \left( \frac{H_{33}}{H_{32}} + 1 \right) = 0.194 \quad C_f := 6 \cdot 10^7 \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$$

$$\gamma_1 := \left( \frac{2}{H_{30}^3} \right) \cdot \left[ H_{31}^3 \cdot (\Delta + \lambda) + H_{32} \cdot \mu + 2 \cdot H_{31} \cdot H_{32} \cdot H_{33} \right] = 0.605$$

$$x_{01} := H_{33} + H_{32} + \frac{H_{31}}{2} = 21.43 \quad \text{м} \quad x_{02} := H_{33} + \frac{H_{32}}{2} = 10.025 \quad \text{м}$$

$$x_{03} := \frac{H_{33}}{2} = 1.25 \quad \text{м}$$

$$\alpha_{i1} := \left[ \gamma_1 \cdot \left( \frac{H_{30} - 0.66}{2 \cdot E \cdot I_{01}} \right) + \left( \frac{x_{01}}{C_f \cdot I_f \cdot H_{30}} \right) \right] \cdot 10^9 = 9.316 \quad G_{\text{уч}} = 26269.879 \quad \text{Н}$$

$$\alpha_{i2} := \left[ \gamma_1 \cdot \left( \frac{H_{30} - 0.66}{2 \cdot E \cdot I_{01}} \right) + \left( \frac{x_{02}}{C_f \cdot I_f \cdot H_{30}} \right) \right] \cdot 10^9 = 5.642 \quad G_{\text{ич}} = 51050.228 \quad \text{Н}$$

$$\alpha_{i3} := \left[ \gamma_1 \cdot \left( \frac{H_{30} - 0.66}{2 \cdot E \cdot I_{01}} \right) + \left( \frac{x_{03}}{C_f \cdot I_f \cdot H_{30}} \right) \right] \cdot 10^9 = 2.816 \quad G_{\text{оп}} = 8463.234 \quad \text{Н}$$

$$T1 := 2 \cdot 3.14 \cdot H30 \cdot \sqrt{\frac{10^{-18} \cdot (\alpha i1^2 \cdot G_{yч} + \alpha i2^2 \cdot G_{ич} + \alpha i3^2 \cdot G_{оп})}{9.81 \cdot \left[ \left( \frac{H30}{2 \cdot E \cdot I01} \right) \cdot \gamma_1 + \frac{1}{Cf \cdot If} \right]}} = 0.931 \quad c$$

$$Kw := 0.7 \quad q0 := 300 \quad \frac{H}{m^2}$$

$$\theta1 := \left( \frac{x01}{10} \right)^{0.31} = 1.267 \quad q1s := Kw \cdot q0 \cdot \theta1 = 265.972 \quad \frac{H}{m^2}$$

$$\theta2 := \left( \frac{x02}{10} \right)^{0.31} = 1.001 \quad q2s := Kw \cdot q0 \cdot \theta2 = 210.163 \quad \frac{H}{m^2}$$

$$\theta3 := \left( \frac{x03}{10} \right)^{0.31} = 0.525 \quad q3s := Kw \cdot q0 \cdot \theta3 = 110.22 \quad \frac{H}{m^2}$$

$$P1s := q1s \cdot D_{вн} \cdot H31 = 2930.8 \quad H$$

$$P2s := q2s \cdot D_{нн} \cdot H32 = 4491.385 \quad H$$

$$P3s := q3s \cdot D_{нн} \cdot H33 = 391.282 \quad H$$

$$v0 := 0.968 - 0.025 \cdot \sqrt{H30} = 0.842$$

$$\varepsilon := \left( T1 \cdot \frac{\sqrt{q0}}{790} \right) = 0.02$$

$$\xi := 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon} = 1.662$$

$$m1 := \left( \frac{x01}{10} \right)^{-0.15} = 0.892 \quad m2 := \left( \frac{x02}{10} \right)^{-0.15} = 1 \quad m3 := \left( \frac{x03}{10} \right)^{-0.15} = 1.366$$

$$\eta1 := \alpha i1 \cdot \left[ \frac{(\alpha i1 \cdot m1 \cdot P1s + \alpha i2 \cdot m2 \cdot P2s + \alpha i3 \cdot m3 \cdot P3s)}{(\alpha i1^2 \cdot G_{yч} + \alpha i2^2 \cdot G_{ич} + \alpha i3^2 \cdot G_{оп})} \right] = 0.12$$

$$\eta2 := \alpha i2 \cdot \left[ \frac{(\alpha i1 \cdot m1 \cdot P1s + \alpha i2 \cdot m2 \cdot P2s + \alpha i3 \cdot m3 \cdot P3s)}{(\alpha i1^2 \cdot G_{yч} + \alpha i2^2 \cdot G_{ич} + \alpha i3^2 \cdot G_{оп})} \right] = 0.073$$

$$\eta3 := \alpha i3 \cdot \left[ \frac{(\alpha i1 \cdot m1 \cdot P1s + \alpha i2 \cdot m2 \cdot P2s + \alpha i3 \cdot m3 \cdot P3s)}{(\alpha i1^2 \cdot G_{yч} + \alpha i2^2 \cdot G_{ич} + \alpha i3^2 \cdot G_{оп})} \right] = 0.036$$

$$P1d := v0 \cdot \xi \cdot G_{yч} \cdot \eta1 = 4415.73 \quad H$$

$$P2d := v0 \cdot \xi \cdot G_{ич} \cdot \eta2 = 5197.525 \quad H$$

$$P3d := v0 \cdot \xi \cdot G_{оп} \cdot \eta3 = 430.076 \quad H$$

$$\chi1 := 1.56 \cdot \left( \frac{x01}{H30} \right)^{1.6} = 1.195$$

$$P1 := P1s + P1d = 7346.53 \quad H$$

$$P2 := P2s + P2d = 9688.91 \quad H$$

$$P3 := P3s + P3d = 821.358 \quad H$$

$$\chi2 := 1.56 \cdot \left( \frac{x02}{H30} \right)^{1.6} = 0.354$$

$$\chi3 := 1.56 \cdot \left( \frac{x03}{H30} \right)^{1.6} = 0.013$$

$$A := (D_B + 2 \cdot s_2 + 2 \cdot s_{H3} + 2.6) \cdot 1.01 = 4.262 \quad \text{м}$$

$$x_{11} := \frac{H_{33}}{2} = 1.25 \quad \text{м} \quad x_{12} := x_{02} = 10.025 \quad \text{м} \quad x_{13} := x_{01} = 21.43 \quad \text{м}$$

$$M_{v11} := K_w \cdot q_0 \cdot \theta_1 \cdot (x_{01} - x_{11}) \cdot (1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_1 \cdot m_1) \cdot \frac{A}{10^4} = 5.329 \quad \text{Н·м}$$

$$M_{v12} := K_w \cdot q_0 \cdot \theta_1 \cdot (x_{01} - x_{12}) \cdot (1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_1 \cdot m_1) \cdot \frac{A}{10^4} = 3.012 \quad \text{Н·м}$$

$$M_{v13} := K_w \cdot q_0 \cdot \theta_1 \cdot (x_{01} - x_{13}) \cdot (1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_1 \cdot m_1) \cdot \frac{A}{10^4} = 0 \quad \text{Н·м}$$

$$M_{v21} := K_w \cdot q_0 \cdot \theta_1 \cdot (x_{02} - x_{11}) \cdot (1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_1 \cdot m_1) \cdot \frac{A}{10^4} = 2.317 \quad \text{Н·м}$$

$$M_{v22} := K_w \cdot q_0 \cdot \theta_1 \cdot (x_{02} - x_{12}) \cdot (1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_1 \cdot m_1) \cdot \frac{A}{10^4} = 1.987 \quad \text{Н·м}$$

$$M_{v23} := K_w \cdot q_0 \cdot \theta_1 \cdot (x_{02} - x_{13}) \cdot (1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_1 \cdot m_1) \cdot \frac{A}{10^4} = -1.987 \quad \text{Н·м}$$

$$M_{vW} := \frac{[P_1 \cdot (x_{01} - x_{11}) + P_2 \cdot (x_{02} - x_{11}) + P_3 \cdot (x_{03} - x_{11}) + (M_{v11} + M_{v12} + M_{v13} + M_{v21} + M_{v22}) \cdot 10^4]}{10^5} = 3.398 \quad \text{Н·м}$$

$$M_{vZ} := \frac{[P_1 \cdot (x_{01} - x_{12}) + P_2 \cdot (x_{02} - x_{12}) + (M_{v11} + M_{v12} + M_{v13} + M_{v21} + M_{v22}) \cdot 10^4]}{10^5} = 1.904 \quad \text{Н·м}$$

$$M_{vK} := \frac{[P_1 \cdot (x_{01} - x_{13}) + (M_{v11} + M_{v12} + M_{v13} + M_{v21} + M_{v22}) \cdot 10^4]}{10^5} = 1.066 \quad \text{Н·м}$$

$$G_1 = 217140.197 \quad \text{Н}$$

$$f_c := 3.14 \cdot D_H \cdot s_2 = 0.044 \quad \text{м}^2$$

$$\sigma_c := \frac{\left[ \left( \frac{G_1}{f_c} \right) + \left( \frac{M_{vW} \cdot 10^4}{0.4} \right) \right]}{10^6} \quad \text{МПа} = 5.024$$

$$\sigma_{доп} := \sigma \cdot 0.8 \cdot 0.8 = 69.12 \quad \text{МПа}$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Спецификация к технологической схеме (Лист 1)

№ Поз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
1		Насос	11	$P = 5800 \text{ Вт}$
2		Теплообменник рекуперативный с нагревом дизельной фракцией	3	$25^\circ\text{C}$
3		Теплообменник рекуперативный с нагревом дизельной фракцией	2	$25^\circ\text{C}$
4		Теплообменник с водяным охлаждением	1	$25^\circ\text{C}$
5	ХВ-1, ХВ-2	Холодильник воздушный	1	
6		Электродегидратор	2	$23,7 \text{ м}^3$
7	К-1	Отбензинивающая колонна	1	100 тыс. т/год
8	П-1	Печь	1	$450^\circ\text{C}$
9	К-2	Ректификационная колонна	1	100 тыс. т/год
10		Емкость	2	$16 \text{ м}^3$
11	КХ-2	Конденсатор-холодильник	1	
12	С-2	Сепаратор	1	$32 \text{ м}^3$

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Спецификация к чертежу аппарата К-2 (Лист 1)

№ Поз	Обозначение	Наименование	Кол.	Материал	Примечание
1		Колонна	1	09Г2С	$s = 10 \text{ мм}$
2		Секция тарелки	70	09Г2С	
3		Секция тарелки	35	09Г2С	
4		Крышка сферическая	2	09Г2С	$s = 10 \text{ мм}$
5		Фланец	2	08х13	$d_y = 100 \text{ мм}$
6		Фланец	1	08х13	$d_y = 400 \text{ мм}$
7		Фланец	1	08х13	$d_y = 300 \text{ мм}$
8		Фланец	1	08х13	$d_y = 100 \text{ мм}$
9		Фланец	1	08х13	$d_y = 400 \text{ мм}$
10		Фланец	1	08х13	$d_y = 100 \text{ мм}$
11		Скоба	70	Сталь 20	
12		Скоба	70	Сталь 20	
13		Болт специальный	92	Сталь 20	
14		Болт ГОСТ 7798-70	184	Сталь 20	
15		Переливная планка	18	Сталь 20	
16		Сливной шланг	18		