

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера

Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Профиль Машины и аппараты химических и нефтехимических производств

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Разработка основного технологического оборудования установки гидроочистки дизельного топлива

УДК 665.753.4:665.658.2.02 \_\_\_\_\_

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ71	Кубашев Сымбат Муратович		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына З.В.	к.т.н, доц.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова С.В.			

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н, доц.		

Томск – 2019г.

Планируемые результаты обучения по ООП 18.04.02 выпуска 2019 г.

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»
P2	Осуществлять управление проектом на всех этапах его жизненного цикла	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 28.004 «Инженер-проектировщик установок для утилизации и обезвреживания медицинских и биологических отходов»
P3	Организовывать и руководить работой команды, вырабатывать командную стратегию для достижения цели	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»,
P4	Применять современные коммуникативные технологии в том числе на иностранном языке (-ах) для академического и профессионального взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P5	Проводить анализ и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P6	Определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности, разрабатывать способы ее	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стан-

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	совершенствования на основе самооценки	дартов: 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P7	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств, представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО, СУОС, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 28.004 - «Инженер-проектировщик установок для утилизации и обезвреживания медицинских и биологических отходов», 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»
P8	Проводить все стадии проектирования с использованием компьютерного 3-х мерного моделирования, коммерческих симуляторов и пакетов прикладных программ, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств, представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 19.002 - «Специалист по химической переработке нефти и газа», 19.003 - «Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования»
P9	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам », 19.00- «Специалист по химической переработке нефти и газа», 19.003 «Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования», 19.008 «Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли»

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

---

**Инженерная школа новых производственных технологий**

**Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**

**Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

**Профиль Машины и аппараты химических и нефтехимических производств**

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ71	Кубашев Сымбат Муратович

Тема работы:

**Разработка основного технологического оборудования установки гидроочистки дизельного топлива**

Утверждена приказом директора (дата, номер)      23.03.2018 г. №2085/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<p><i>Расчитать реактор непрерывного действия для получения дизельного топлива.</i></p> <p><i>Исходные данные:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>-Давление в реакторе: 6-6.6 МПа;</li><li>-Температура в реакторе: 430 °С</li><li>-Нагрузка реактора по сырью дизельного топлива 228310 кг/ч</li><li>-По результатам расчёта реатора подобрать кожухотрубчатый теплообменник для подогрева сырья гидроочистки.</li></ul> <p><i>Исходные данные:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Температура теплоносителя (ГСС): 250 °С</li><li>Температура сырья: (ГПС) 305 °С</li></ul>
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Глава I Литературный обзор
Перечень графического материала	1. Реактор гидроочистки ВО А1; 2. Технологическая схема А1 3. Экономика А1 4. Узлы и детали реактора А1 5. Распределительная камера А2 6. Теплообменник ВО А1;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Криницына З.В.
Социальная ответственность	Романова С.М.
Конструктивно-механический раздел	Беляев В.М.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Раздел 1 Литературный обзор	

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

Задание выдал руководитель:

Доцент	Беляев В.М.	к.т.н, доц.		
--------	-------------	-------------	--	--

Задание принял к исполнению студент:

4KM71	Кубашев С.М.		
-------	--------------	--	--

## Оглавление

Введение .....	10
1. Литературный обзор .....	12
1.1 Теоретические основы процесса гидроочистки .....	12
1.2 Химизм процесса гидроочистки [3] .....	13
1.3 Термодинамика процесса .....	17
1.4 Механизм процесса гидроочистки .....	17
1.5 Влияние основных факторов на выход и качество основных продуктов .....	18
1.5.1 Температура.....	18
1.5.2 Давление .....	18
1.5.3 Объемная скорость подачи сырья .....	19
1.5.4 Кратность циркуляции водородсодержащего газа .....	19
1.5.5 Катализатор .....	20
1.6 Характеристика сырья и продуктов гидроочистки.....	21
1.7 Установки гидроочистки, применяемые в настоящее время.....	23
2 Технологический раздел.....	25
2.1 Описание технологической схемы .....	25
2.2 Расчетная часть .....	27
2.2.1 Исходные данные.....	27
2.2.3 Материальный баланс реактора.....	34
2.2.4 Тепловой баланс реактора.....	35
2.2.5 Расчет основных параметров реактора гидроочистки .....	38
2.2.7 Расчет регенерации катализатора.....	42
2.3 Расчет сырьевого теплообменника.....	44
2.4 Уточненный расчет поверхности теплообмена и окончательный выбор типа теплообменного аппарата.....	46
3 Механический расчет реактора гидроочистки.....	51
3.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки(1) .....	54
3.2 Расчет стандартных полусферического днища.....	55
3.3 Расчет штуцеров.....	57
3.3.1 Расчет необходимости укрепления отверстия в цилиндрической обечайке[39] .....	59
4. Механический расчет теплообменника .....	66
4.1 Расчет толщины стенки кожуха.....	67
4.2 Расчет толщины стенки эллиптической крышки.....	68
4.3 Расчет толщины стенки труб .....	69
4.4 Расчет крышек.....	69
4.5 Выбор толщины трубных решеток.....	70
4.6 Расчет фланцевого соединения.....	70
4.7 Расчет укрепления отверстий .....	76
4.8 Расчет опор .....	77
5 Социальная ответственность .....	84
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	85
5.2 Производственная безопасность .....	87
5.3 Экологическая безопасность проекта .....	94
5.3.1 Твердые и жидкие отходы, сточные воды, выбросы в атмосферу.....	94
5.3.2 Мероприятия по охране окружающей среды.....	95
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	96
6 Экономический раздел .....	100
6.1 Расчет капитальных затрат.....	100
6.2 Расчет численности и фонда заработной платы персонала .....	102

6.3 Расчет среднегодовой заработной платы одного списочного рабочего и работающего, производительности труда .....	104
6.4 Расчет отчислений в социальный фонд .....	106
6.5 Расчет годового расхода электроэнергии .....	106
6.6 Расчет себестоимости продукции.....	106
6.7 Расчет технико-экономических показателей .....	109
Заключение .....	112
Список использованных источников .....	113

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки и 5 листов графического материала формата А1, 1 лист формата А2, 1 лист формата А3. Пояснительная записка содержит 127 с., 1 схемы, 3 рис., 40 табл., 29 источник и 1 приложение.

Ключевые слова: разработка, реактор гидроочистка, кожухотрубчатый теплообменник.

Объектом исследования являются реактор гидроочистки, кожухотрубчатый теплообменник.

Цель работы – рассчитать и подобрать реактор гидроочистки и кожухотрубчатый теплообменник для производства гидроочищенного дизельного топлива мощностью 228310 кг/ч по сырью.

В процессе исследования проводилось изучение и расчёт оборудования для производства дизельного топлива на установке гидроочистки. В результате производственной практики было выявлено, что установка гидроочистки не модернизировалась и работает с момента строительства завода.

Актуальность данной работы заключается в обновлении установки с целью выпуска продуктов соответствующих международным стандартам.

В результате исследования был рассчитан реактор гидроочистки и кожухотрубчатый теплообменник под заданную производительность.

Основные конструктивные, технологические и техникоэксплуатационные характеристики: производительность по неочищенному дизельному топливу – 228310 кг/ч; давление 6–6,6 МПа; температура реакции 430 оС;

Область применения: нефтехимическая промышленность.

## Abstract

Final qualifying work consists of five sheets of graphic material of form A1, one A2 sheet and one A3 sheet. Explanatory note contains 127 p., 1 scheme, 3 fig., table 40, 29 sources and 1 application.

Keywords: development, hydrotreating reactor, shell-and-tube heat exchanger.

The object of the research are hydrotreating reactor, shell-and-tube heat exchanger.

The purpose of the work is to calculate and select a hydrotreating reactor and a shell-and-tube heat exchanger for the production of hydrotreated diesel fuel with a capacity of 228310 kg / h for raw materials.

In the course of the study, the study and calculation of equipment for the production of diesel fuel at the Hydrotreating plant were carried out. As a result of production practice, it was found that the Hydrotreating unit has not been modernized and has been operating since the construction of the plant.

The relevance of this work is to update the installation in order to produce products corresponding to international standards.

In the process of the research, the equipment for the production of hydrotreating was studied and calculated.

As a result of the research, a polymerization reactor and a shell-and-tube heat exchanger were calculated for a given capacity.

The main constructive, technological, technical, and operational characteristics: polypropylene productivity - 228310 kg / h; pressure of 6–6.6 MPa; reaction temperature Application area: petrochemical industry.

## Введение

ТОО «Павлодарский нефтехимический завод» («ПНХЗ») крупнейшее предприятие на северо-восточной части Казахстана по переработке нефтепродуктов. Завод является одним из трех крупнейших нефтеперерабатывающих заводов Казахстана, принадлежащий АО «Национальная компания «КазМунайГаз»».

«ПНХЗ» выпускает довольно широкую линейку продуктов из нефтяного сырья, перерабатывающий западносибирскую нефть. Предприятие в настоящее время имеет мощность 6 млн тонн нефти в год. Линейка продуктов, получаемых на данном производстве включает в себя автомобильные бензины различных марок, дизельного топлива экологического класса «К-3», нефтяное топливо(мазут), сжиженные углеводородные газы, вакуумный газойль, техническую серу, а также битумы нескольких сортов.

Завод введен в эксплуатацию в 1978 году, в процессе прохождения производственной практики было выявлено, что с момента запуска в эксплуатацию данного предприятия, модернизации на заводе не проведены не были.

В соответствии с требованиями [29], регламентирующие содержание серы в дизельном топливе не более 0,05%, что не позволяет заводу конкурировать с Российскими поставщиками, а также не позволяет заводу выходить на международный рынок в принципе. К 2020г. планируется весь дизельный транспорт перевести на топливо с содержанием серы 0,01%.

В наши дни производство дизельного топлива на НПЗ представляет более сложную задачу по сравнению с 70-ми годами, когда была достаточна степень обессеривания атмосферных дизельных фракций на уровне 80-85%.

					<b>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</b>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<b>Введение</b>		
Разраб.		Кубашев С.М					
Провер.		Беляев В.М.					
Консульт.							
Н. Контр.							
Утверд.	Беляев В.М.				<b>ТПУ гр 4КМ71</b>		
					<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
						10	2

Эта задача стала более сложной по ряду причин, среди которых:

- необходимость переработки большой гаммы ненасыщенных дизельных фракций, поступающих после процессов термического и каталитического крекинга;

- потребность в продуктах с крайне низким содержанием серы (обычно не более 500 ppm), имеющих улучшенные показатели стабильности;

- возможность введения более жестких требований в отношении показателей цетанового числа и содержания ароматики, как результат осознания общественной необходимостью защиты окружающей среды.

Снижение содержания серы в дизельном топливе может быть достигнуто путем гидроочистки, проводимой в более жестких условиях. Указанная цель также может быть достигнута подбором нового, более эффективного для данного типа сырья, катализатора [1].

Реактор гидропереработки нефтяного сырья, находящийся в настоящее время в эксплуатации, спроектирован и построен в конце 70-х годов. Поскольку выходы продуктов и их качество изменились, многие нефтепереработчики смогли получить преимущества от использования прогресса в разработке катализаторов и избежать крупных капиталовложений в свои установки. Однако для того, чтобы полностью реализовать потенциал реакторной системы экономически эффективно, необходима подробная оценка рабочих характеристик и конструкции существующих реакторных систем в сочетании с тщательным рассмотрением имеющихся в наличии вариантов модернизации реакторов.

Актуальность данной дипломной работы заключается в увеличении глубины обессеривания, разработка нового реактора по современным стандартам, позволит увеличить технический ресурс завода в необходимом для нужд страны объеме.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# 1. Литературный обзор

## 1.1 Теоретические основы процесса гидроочистки

Гидроочистка - одноступенчатый процесс, проходящий в наиболее мягких, по сравнению с гидрокрекингом и деструктивной гидрогенизацией, условиях. Процесс протекает при 350-430 °С, 3,0-6,0 МПа, циркуляции водородсодержащего газа 100—600 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сырья и объемной скорости 3-10 ч<sup>-1</sup> с применением катализатора (обычно алюмокобальтмолибденовый или алюмоникельмолибденовый) [2].

Гидроочистке (или гидрооблагораживанию) может подвергаться различное сырье, получаемое как при первичной перегонке нефти, так и при термokatалитических процессах, от газа до масел и парафина. Наибольшее применение гидроочистка имеет для обессеривания сырья каталитического риформинга, а также для получения реактивного и малосернистого дизельного топлива из сернистых и высокосернистых нефтей. При гидроочистке происходит частичная деструкция в основном сероорганических и частично кислород- и азотсодержащих соединений.

Продукты разложения насыщаются водородом с образованием сероводорода, воды, аммиака и предельных или ароматических углеводородов.

Удаление гетероатомов происходит в результате разрыва связей С-S, С-N и С-O и насыщения образующихся осколков водородом. При этом сера, азот и кислород выделяется соответственно в виде H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>O. Алкены присоединяют водород по двойной связи. Частично гидрируются полициклические ароматические углеводороды.

					<b>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<b>Введение</b>		
Разраб.	Кубашев С.М						
Провер.	Беляев В.М.						
Консульт.							
Н. Контр.							
Утверд.	Беляев В.М.				<b>ТПУ гр 4КМ71</b>		
					Лит.	Лист	Листов
						12	2

## 1.2 Химизм процесса гидроочистки [3]

В неуглеводородных соединениях связи C–S и S–S менее прочны, чем связи C–C и C–H, усредненные энергии связи которых равны 201, 218, 247 и 365 кДж/моль, соответственно. Но поскольку процесс гидроочистки каталитический, то прочность связи следует оценивать с учетом энергии образования промежуточных комплексов катализатора с осколками, образовавшимися после разрыва связей. Эта энергия значительно компенсирует затрату энергии разрыва связи. Например, на никеле энергия разрыва связи C–S составляет 20 кДж/моль, C–N – 104 кДж/моль, а C–C – 201 кДж/моль. Этим объясняется селективность процессов гидроочистки: почти количественная деструкция связей C–S без существенного затрагивания связей C–C, т.е. без заметной деструкции сырья.

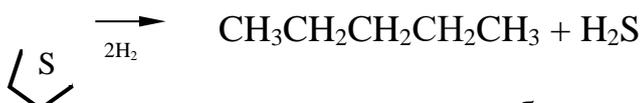
Меркаптаны превращаются в углеводород и сероводород:



Дисульфиды гидрируются до сероводорода и соответствующих углеводородов также через стадию образования меркаптанов:



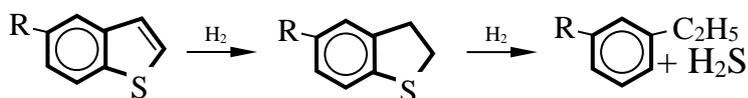
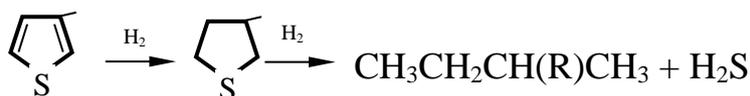
В циклических сульфидах, например тиофане, вначале разрывается кольцо, затем отщепляется сероводород и образуется соответствующий углеводород:



Соединения тиофенового ряда представлены бензтиофеном, дибензтиофеном, алкилдибензтиофенами и диалкилдибензтиофенами – малоактивны. Их доля в составе серосодержащих соединений дизельных фракций достигает 50 – 60 %, что в пересчете на серу при общем ее содержании около 1,2% (масс.) составляет 0,3 – 0,7% (масс.). Устойчивость сероорганических соединений к гидрогенолизу с увеличением числа ароматических и нафтеновых колец в его молекуле возрастает.

Тиофен и бензтиофен сначала гидрируются до производных тетрагидро-тиофена, которые затем превращаются алканы и алкилпроизводные ароматических углеводородов:

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13



Азот в нефтепродуктах находится в основном в гетероциклах – в виде производных пиррола и пиридина.

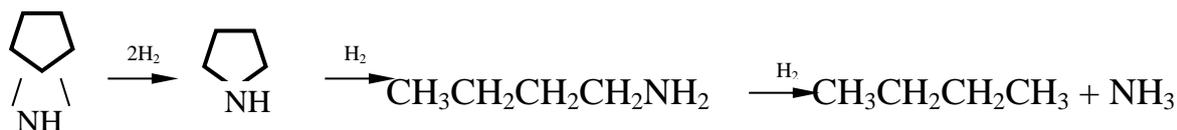
Гидрогенолиз связи C – N протекает труднее, чем связи C – S, поэтому в процессах гидроочистки азот удалить сложнее, чем серу. Легче всего гидрируются амины:



Анилин, содержащий аминогруппу, связанную с ароматическим кольцом, гидрируется значительно труднее:



Хуже всего удаляется азот из циклических структур. Пиррол гидрируется до бутана и аммиака:

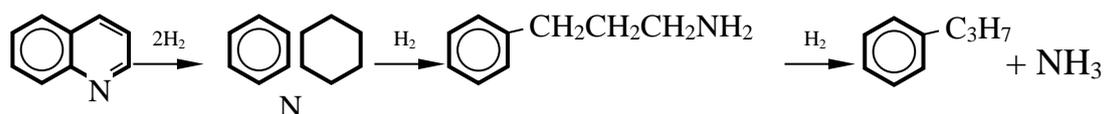


Пиридин превращается в пентан и аммиак по схеме:



Так как сопряжённая электронная система в молекуле пиридина значительно более устойчива, чем в молекуле пиррола, пиридин гидрируется труднее, чем пиррол.

Гидрирование бициклических и полициклических ароматических углеводородов начинается с кольца, содержащего гетероатом:



Кислород в средних дистиллятах может быть представлен соединениями типа спиртов, эфиров, фенолов и нафтеновых кислот. В высококипящих фракциях кислород находится в основном в мостиковых связях и в циклах молекул. Наибольшее количество кислородсодержащих соединений концентрируется в смолах и асфальтенах.

При гидрогенолизе кислородсодержащих соединений образуются соответствующие углеводороды и вода:



Смолы и асфальтены превращаются в низкомолекулярные соединения. Гидроочистка от кислородсодержащих соединений протекает в тех же условиях, что и удаление сернистых примесей. В присутствии обычных катализаторов гидроочистки достигается практически полное гидрирование кислородсодержащих соединений.

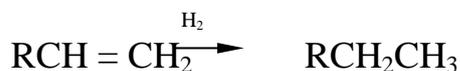
Металлоорганические соединения, присутствующие в нефтяных фракциях, разлагаются на активных центрах катализатора с выделением свободного металла, являющегося каталитическим ядом. Гидроочистка позволяет удалять большую часть металлоорганических соединений. Таким образом, ванадий удаляется на 98-100%, а никель на 93-96%.

В процессе гидроочистки одновременно с реакциями сернистых, азотистых и кислородных соединений протекают многочисленные реакции углеводородов:

- изомеризация парафиновых и нафтеновых углеводородов;
- насыщение непредельных углеводородов;
- гидрокрекинг;
- гидрирование ароматических углеводородов и другие.

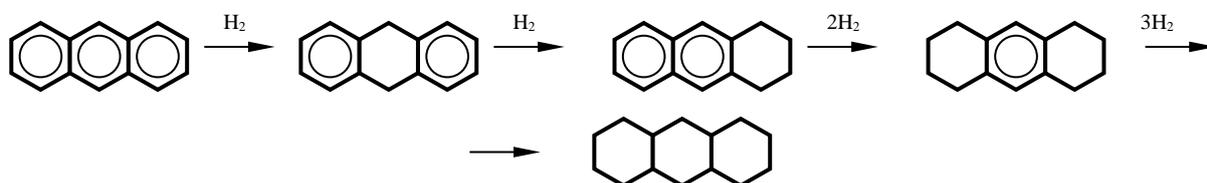
Изомеризация парафиновых и нафтеновых углеводородов происходит при любых условиях обессеривания.

При температуре  $350 \div 500^\circ\text{C}$  происходит практически полное гидрирование непредельных соединений при сравнительно низком парциальном давлении водорода:

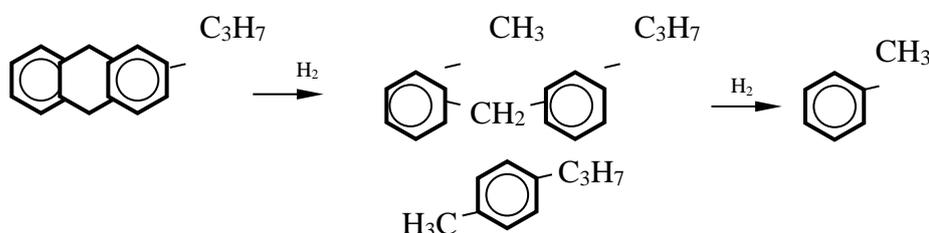


Интенсивность гидрокрекинга усиливается с повышением температуры и давления. При более высоких температурах и низких давлениях происходит частичное дегидрирование нафтеновых и дегидроциклизация парафиновых углеводородов. В некоторых случаях гидрогенизационного обессеривания эти реакции могут служить источником получения водорода для реакции собственного обессеривания, т.е. обеспечивают протекание процесса автогидроочистки.

В процессе гидрирования наиболее стойкими являются ароматические углеводороды. Гидрирование ароматических углеводородов с конденсированными кольцами может происходить в условиях процесса гидроочистки:

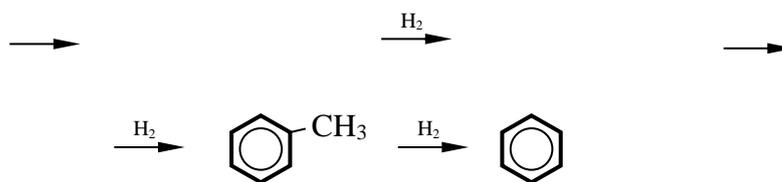


Наряду с последовательным гидрированием ароматических колец возможно расщепление образовавшихся насыщенных колец и выделение алкилзамещённых аренов:



Алкилбензолы на катализаторах с высокой гидрирующей активностью подвергаются дальнейшему гидрогенолизу, в основном с последовательным отщеплением метана[4]:

		$\text{H}_2$		$\text{H}_2$		
	$\text{H}_3\text{C}$		$\text{H}_3\text{C}$		$\text{H}_3\text{C}$	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	
						Лист 16



### 1.3 Термодинамика процесса

Для быстрого протекания реакций на существующих промышленных катализаторах достаточна температура 330 – 430 °С. Поскольку реакции присоединения водорода сопровождаются изменением объёма, давление в реакционной зоне оказывает решающее влияние на глубину процесса. Наиболее часто при гидроочистке применяют давление 2,5 - 6 МПа.

Гидрирование ароматических углеводородов идёт с выделением теплоты и снижением энтропии, константы равновесия гидрирования быстро уменьшаются с ростом температуры.

Добавление к прямогонному сырью до 30% фракций вторичного происхождения повышает теплоту реакции до 125–187 кДж/кг в зависимости от содержания непредельных углеводородов в сырье.

### 1.4 Механизм процесса гидроочистки

Механизм гидрирования сераорганических соединений в значительной степени зависит от их строения. Скорость гидрирования, возрастает в ряду: тиофены < тиофаны ≈ сульфиды < дисульфиды < меркаптаны.

Данных о гидрировании азот- и кислородорганических соединений очень мало. В таблице 1.1 приведены данные о гидрировании некоторых азот-, кислород- и сероорганических аналогов на Ni<sub>2</sub>S<sub>3</sub> [4].

Таблица 1.1 - Степень превращения различных видов гетероатомных соединений в зависимости от температуры

Углеводород	Превращение, %		
	при 200°C	при 350°C	при 430°C
Тиофан	41	100	100
Тetraгидрофуран	0	25	55
Тиофен	0	15	39
Фуран	0	0	10
Пиррол	0	0	0

## 1.5 Влияние основных факторов на выход и качество основных продуктов

Процесс гидроочистки зависит от фракционного и химического состава сырья, от требуемой степени обессеривания, от вида катализатора и его состояния.

Основными параметрами, гидроочистки: температура, давление, объемная скорость подачи сырья, кратность циркуляции водородосодержащего газа, активность катализатора.

### 1.5.1 Температура

Оптимальная температура гидроочистки зависит от сырья, условий процесса, активности катализатора и проходит при 300-450 °С для фракции (230-360 °С) и 290-370 °С для фракции (140-230 °С).

Наиболее целесообразно вести процесс при минимальной температуре, не вызывающей образование кокса. С повышением температуры увеличивается степень обессеривание сырья и лежит в пределах 430 °С.

При повышении температуры степень гидрирования понижается. Реакции экзотермичны, количество выделяемого тепла зависит от содержания серы и непредельных углеводородов.

### 1.5.2 Давление

При повышении давления степень гидрирования увеличивается, уменьшается коксообразование и увеличивается срок службы катализатора. Процесс гидроочистки проводится при давлении 2 – 6 МПа. При дальнейшем повышении давле-

ния показатели обессеривания повышаются незначительно.

Процесс гидроочистки лучше вести при повышенном парциальном давлении водорода – в циркулирующем газе должно быть 75-95% (об.) водорода (не менее 60% об.). С повышением парциального давления водорода увеличивается скорость гидрирования сернистых соединений. Высокая степень обессеривания достигается при 6 МПа. Чем выше давление, тем меньше кокса откладывается на катализаторе.

### 1.5.3 Объемная скорость подачи сырья

Объемной скоростью называется отношение объема сырья, подаваемого в реактор в час, к объему катализатора.

С увеличением объемной скорости уменьшается время пребывания сырья в реакторе и наоборот, с уменьшением объемной скорости увеличивается время контакта паров сырья с катализатором и, следовательно, углубляется степень очистки. Однако с уменьшением объемной скорости, уменьшается количество пропускаемого через реактор сырья, т.е. снижается производительность установки. Поэтому для каждого вида сырья определяется максимально-допустимая объемная скорость.

### 1.5.4 Кратность циркуляции водородсодержащего газа

Гидроочистка дизельного топлива проводится при избыточном содержании водорода в реакции. При повышении содержания водорода увеличивается скорость реакции, также это фактор влияет на степень обессеривания.

Относительное количество подаваемого водородсодержащего газа выражается объемом циркулирующего газа в нормальных м<sup>3</sup>, приходящемся на 1 м<sup>3</sup> жидкого сырья. Концентрация водорода в циркулирующем газе должна быть не менее 70 % объемных. Кратность циркуляции водородсодержащего газа для различных условий принимается в пределах 100-700 нм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> жидкого сырья.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

## 1.5.5 Катализатор

Катализатор должен обладать высокими требованиями в реакции, при разрыве связей углерод – углерод или насыщения ароматических колец в процессе реакции практически не должен протекать. Высокая активность в реакциях насыщения непредельных соединений В процессах гидроочистки различных нефтяных фракций и продуктов могут быть использованы различные сероустойчивые гидрирующие катализаторы, в частности представляющие собой сочетания окислов и сульфидов кобальта (или никеля) с окислами и сульфидами молибдена или вольфрама, а именно молибдатов кобальта (или никеля), сульфовольфраматов никеля и так далее.

Этим требованиям отвечают алюмокобальтмолибденовый (АКМ) и алюмоникельмолибденовый (АНМ) катализаторы.

В катализаторе большую роль играет не только содержание активных компонентов, но и соотношение металлов в них. Так в катализаторе АКМ наиболее эффективно соотношение содержания кобальта и молибдена равно 1:5; оно обеспечивает его максимальную активность в реакциях гидрообессеривания. Такой катализатор обладает весьма высокой избирательностью, и реакции гидрокрекинга связей углерод-углерод или насыщения ароматических колец в его присутствии практически не протекают. Кроме того, он практически не чувствителен к ядам, которые обычно присутствуют в перерабатываемом сырье. Более того, его даже предварительно сульфидируют и по ряду данных это обеспечивает его хорошую работу в режиме гидроочистки.

Чем выше активность катализатора, тем выше объемная скорость а также высока степень обессеривания сырья. Со временем степень активности катализатора падает в следствии отложения кокса на его поверхности.

Для восстановления активности катализатора периодически проводится выжигание кокса. За счет рекристаллизации и изменения структуры поверхности, а также за счёт адсорбции на поверхности катализатора металлоорганических и других веществ, блокирующих активные центры, что приводит в негодность ката-

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

лизатор.. В этом случае каталитическая активность снижается, и катализатор меняют на новый.

## 1.6 Характеристика сырья и продуктов гидроочистки

Степень очистки сырья зависит от типа, температуры, парциального давления водорода и его кратности циркуляции, объемной скорости подачи сырья и других факторов.

Гидроочистке подвергают как прямогонные фракции, так и дистилляты вторичного происхождения (лёгкая фракция пиролизной смолы, бензины, лёгкие газойли коксования и каталитического крекинга).

С утяжелением сырья степень его очистки в заданных условиях процесса снижается. С повышением средней молярной массы доля серы, содержащейся в устойчивых относительно гидрирования структурах, увеличивается.

При одинаковом фракционном составе очистка от серы продуктов вторичного происхождения (коксования, каталитического крекинга) проходит значительно труднее. Это связано с тем, что подвергшиеся крекингу продукты содержат гетероатомы в структуре наиболее термически стабильных, трудно гидрирующихся соединений. Кроме того, продукты вторичного происхождения содержат большое количество ароматических и непредельных углеводородов, обладающих высокой адсорбируемостью на катализаторе и тормозящих в результате гидрирование гетероорганических соединений.

Качество получаемых продуктов должно соответствовать показателям, приведенным таблицам 1.2 - 1.5.

Таблица 1.2 - Показатели качества сероводорода

Показатели качества продукта	
Содержание сероводорода, % объемных	не менее 98,0
Применяется в качестве сырья для производства серной кислоты.	

Таблица 1.3 - Фракция дизельного топлива гидроочищенная

Показатели качества продукта	
Содержание воды и механических примесей	отсутствие
Фракционный состав	
50% отгоняется при температуре не выше	280°C
90% отгоняется при температуре не выше	340°C
96% отгоняется при температуре не выше	360°C
Сероводородная коррозия	отсутствие
Испытание на медной пластинке	выдерживает
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °C	не ниже 62
Массовая доля общей серы, % масс.	не более 10
Азот, % масс.	не более 20
Йодное число, гр/100гр.	0,5
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	не более 834

Таблица 1.4 - Показатели качества отгоняемого бензина

Содержание воды и механических примесей	отсутствует
Испытание на медную пластинку	выдерживает
Температура начала кипения, °C	не ниже 40
Температура конца кипения, °C	не выше 180
Применяется как компонент автомобильных бензинов	

Таблица 1.5 - Очищенный углеводородный газ

Показатели качества продукта:	
Содержание сероводорода, % объемных	не более 0,20
Применяется в качестве печного топлива на установке.	

По отношению к действующему европейскому стандарту EN 590, на территории СНГ был разработан и введен в действие с 1.02.2007 стандарт СТБ 1658-2006, который устанавливает технические требования и методы испытания дизельного топлива, используемого для транспортных средств (таблица 1.6) [7].

Таблица 1.6 - Общие требования и методы испытаний

Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя	
		Min	max
Цетановое число	-	51,0	-
Цетановый индекс	-	46,0	-
Плотность при 15 °С <sup>с</sup>	кг/м <sup>3</sup>	820	845
Массовая доля полициклических аром. Углеводородов	%		11
	мг/кг		350*
Содержание серы			50*
Температура вспышки	°С	выше 55	-
Коксуемость 10 %-ного остатка	%	-	0,30
Содержание воды	мг/кг	-	200
Содержание механических примесей	мг/кг	-	24
Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С)	единицы по шкале	класс 1	
Стойкость к окислению	г/м <sup>3</sup>	-	25
Вязкость при 40 °С	мм <sup>2</sup> /с	2,00	4,50
Объемная доля метиловых эфиров жирных кислот	% (V/V)	-	5

### 1.7 Установки гидроочистки, применяемые в настоящее время

Современные гидрогенизационные процессы фирмы Union Oil Co: процесс Юникрекинг/ДП включает последовательно работающие два реактора гидроочистки и селективной гидродепарафинизации для обработки сырья – дизельных фракций и вакуумных газойлей с получением низкозастывающей температурой дизельного топлива (температура застывания иногда до минус 80 °С) с содержанием 0,002 % серы, менее 10 % ароматики на катализаторах НС-К и НС-80 при конверсии сырья 20 %; процесс Юникрекинг с частичной конверсией 80%сырья – вакуумных газойлей с получением дизельного топлива с содержанием 0,02 % серы, менее 10 % ароматики на катализаторе предварительной гидроочистки НС-К и усовершенствованном цеолитном катализаторе ДНС-32. Для реформулирования нефтяных остатков в мировой практике применяют, в частности следующие процессы: гидроочистка RCD Unionfining (Union Oil Co.) для уменьшения содержания серы, азота, асфальтенов, металлов и снижения коксуемости остаточного сы-

рья с целью получения качественного малосернистого топлива или для дальнейшей переработки при гидрокрекинге, коксовании, каталитическом крекинге остаточного сырья; гидроочистка RDS/VRDS (Chevron) по назначению похожа на предыдущий процесс, при этом перерабатывается сырье с вязкостью при 100 °С до 6000 мм<sup>2</sup>/с и с содержанием металлов до 0,5 г/кг, применяется технология «замены катализатора на ходу», которая дает возможность выгружать катализатор из реактора и заменять его свежим при сохранении нормального режима работы в параллельных реакторах, что позволяет перерабатывать очень тяжелое сырье с пробегом установки более года [8].

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

## 2 Технологический раздел

### 2.1 Описание технологической схемы

На рисунке 2.1 изображена выбранная технологическая схема гидроочистки.

Установка, предназначенная для гидроочистки дистиллята дизельного топлива, технологическая схема которой приведена на рисунке, включает реакторный блок, состоящий из печи и одного реактора, системы стабилизации гидроочищенного продукта, удаления сероводорода из циркуляционного газа, а также промывки от сероводорода дистиллята. Процесс проводится в стационарном слое алюмокобальтмолибденового катализатора.

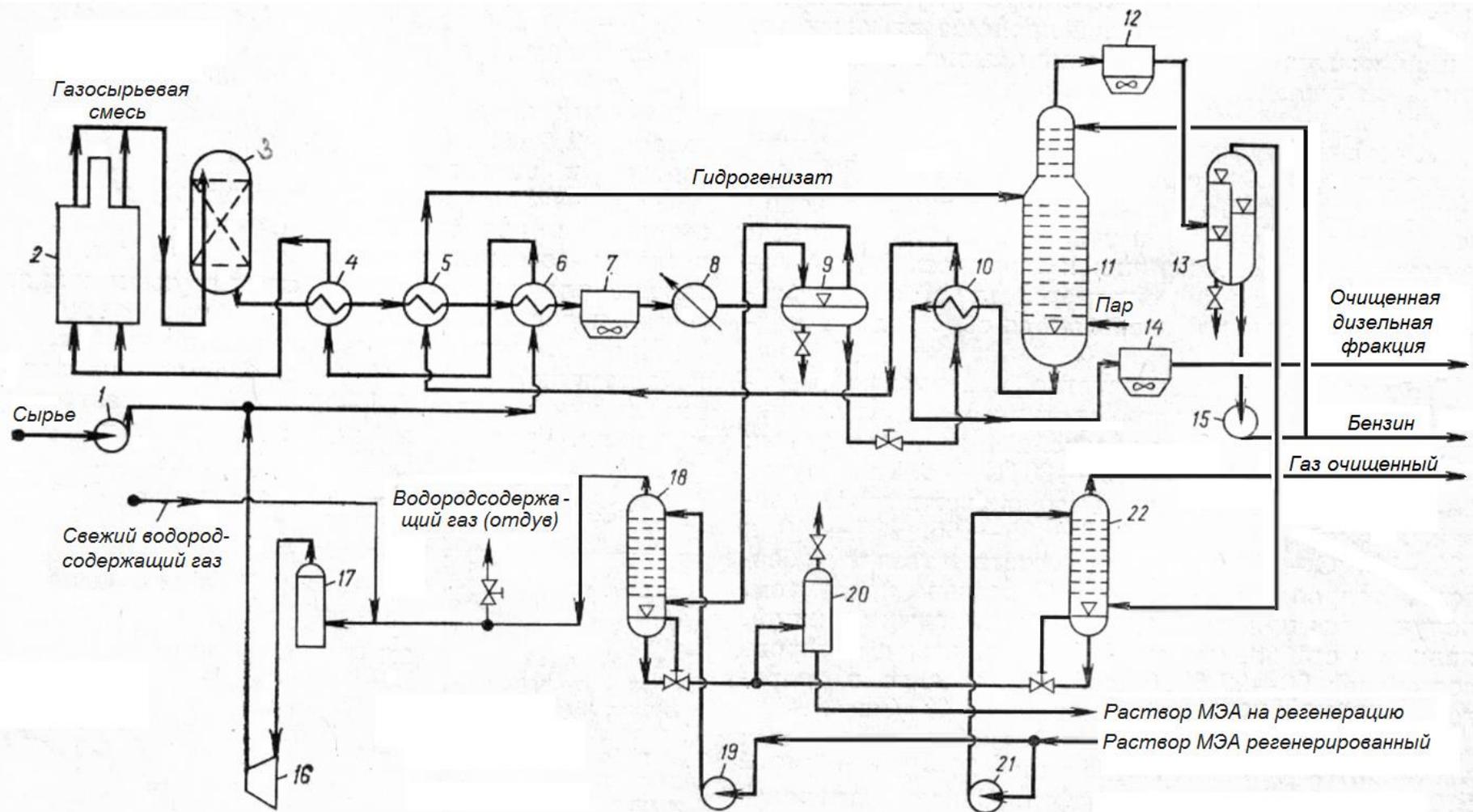
Сырье, подаваемое насосом 1 смешивается с водородсодержащим газом, нагнетаемым компрессором 16. После нагрева в теплообменниках 6 и 4 и в змеевике трубчатой печи 2 смесь при температуре 380-425°C поступает в реактор 3.

Продукты реакции охлаждаются в теплообменниках 4, 5 и 6 до 160°C, нагревая одновременно газосырьевую смесь, а также сырье для стабилизационной колонны. Дальнейшее охлаждение газопродуктовой смеси осуществляется в аппарате воздушного охлаждения 7, а доохлаждение (примерно до 38°C) - в водяном холодильнике 8.

Нестабильный гидрогенизат отделяется от циркуляционного газа в сепараторе высокого давления 9. Из сепаратора гидрогенизат выводится снизу, проходит теплообменник 10, где нагревается примерно до 240°C, а затем - теплообменник 5 и поступает в стабилизационную колонну 11.

На некоторых установках проводится высокотемпературная сепарация

					<b>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<b>Введение</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.		Кубашев С.М						
Провер.		Беляев В.М.					25	2
Консульт.						<b>ТПУ гр 4КМ71</b>		
Н. Контр.								
Утверд.	Беляев В.М.							



1,15,19,21-насосы; 2-трубчатая печь; 3-реактор; 4-6,10-теплообменники; 7,12,14-аппараты воздушного охлаждения; 8-водяной холодильник; 9,13,17,20-сепараторы; 11-стабилизационная колонна; 16-центробежный компрессор; 18,22-абсорберы.

Рисунок 2.1 - Принципиальная технологическая схема проектируемой установки ГО ДТ

газопродуктовой смеси. В этом случае смесь разделяется при температуре 210—230°C в горячем сепараторе высокого давления; уходящая из сепаратора жидкость поступает в стабилизационную колонну, а газы и пары - в аппарат воздушного охлаждения.

Образовавшийся конденсат отделяется от газов в холодном сепараторе и направляется также в стабилизационную колонну [15].

Циркуляционный водородсодержащий газ после очистки в абсорбере 18 от сероводорода водным раствором моноэтаноламина возвращается компрессором 16 в систему.

В низ колонны 11 вводится водяной пар. Пары бензина, газ и водяной пар по выходе из колонны при температуре около 135°C поступают в аппарат воздушного охлаждения 12, и газожидкостная смесь разделяется далее в сепараторе 13. Бензин из сепаратора 13 насосом 15 подается на верх колонны в качестве орошения, а балансовое его количество выводится с установки. Углеводородные газы очищаются от сероводорода в абсорбере 22.

Гидроочищенный продукт, уходящий с низа колонны 11, охлаждается последовательно в теплообменнике 10, аппарате воздушного охлаждения 14 и с температурой 50°C выводится с установки.

На установке имеется система для регенерации катализатора (выжиг кокса) газовойдушной смесью при давлении 2-4 МПа и температуре 400-550°C. После регенерации катализатор прокаливается при 550°C и 2 МПа газовойдушной смесью, а затем система продувается инертным газом [16]

## 2.2 Расчетная часть

### 2.2.1 Исходные данные

а) Производительность по сырью:  $G=2,1$  млн.т/год;

б) Характеристика сырья: Фракционный состав 200-350°C;  $\rho_0=0,8244$  г/см<sup>3</sup>

Содержание серы  $S_o=0,49\%$ , в том числе меркаптановой серы  $S_m=0,04\%$ , сульфидной  $S_c=0,24\%$ , дисульфидной  $S_d=0,05\%$  и тиофеновой  $S_T=0,16\%$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Содержание непредельных углеводородов 10%(масс.) на сырье;

в) Остаточное содержание серы в очищенном дизельном топливе  $S_k < 0,05\%$ (масс.), т.е. степень гидрообессеривания 90%;

г) Гидроочистка производится на алюмокобальтмолибденовом катализаторе при  $P=6\text{МПа}$ , при кратности циркуляции водородсодержащего газа к сырью  $\alpha=200\text{нм}^3/\text{м}^3$  [17];

д) Кинетические константы процесса:  $k_0=4,62 \cdot 10^6$ ,  $E=67040$  кДж/моль,  $n=2$ .

Расчет выхода гидроочищенного топлива  $V_{\text{дт}}\%$ (масс.) на исходное сырье равен:

$$V_{\text{дт}} = 100 - V_{\text{б}} - V_{\text{г}} - \Delta S, \quad (2.1)$$

где  $V_{\text{б}}$  - выход бензина, %(масс.);

$V_{\text{г}}$  - выход газа, %(масс.);

$\Delta S$  - количество удаленной из сырья серы, %(масс.)

В 100кг сырья содержится 0,49 кг серы.

Бензин и газ образуются преимущественно при гидрогенолизе сернистых соединений. При средней  $M_{\text{г}} = 209$ , в 100кг сырья содержится  $100/209=0,48$  кмоль.

0,49кг серы содержат  $0,49/32=0,015$ кмоль серы, т.е. содержание молекулы составляют  $(0,015/0,48) \cdot 100\% = 3,1\%$  общго числа молекул. Если принять равномерное распределение атомов серы по длине углеводородной цепочки, то при гидрогенолизе сераорганических соединений с разрывом у атомов серы выход бензина и газа составит:

$$V_{\text{б}} = \Delta S = 0,44\% \text{ (масс.)} \quad (2.2)$$

$$\Delta S = S_{\text{o}} - S_{\text{k}} \quad (2.3)$$

$$V_{\text{г}} = 0,3 \Delta S = 0,3 \cdot 0,44 = 0,132\% \text{ (масс.)}$$

Тогда выход дизельного топлива будет равен:

$$V_{\text{дт}} = 100 - 0,44 - 0,132 - 0,44 = 98,99\% \text{ (масс.)}$$

Полученная величина в дальнейших расчетах уточняется после определения количества водорода, вошедшего в состав дизельного топлива при гидрогенолизе сернистых соединений и гидрировании непредельных углеводородов.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Полученные значения выхода газа, бензина и дизельного топлива далее будут использованы при составлении материального баланса установки и реактора гидроочистки.

Водород в процессе гидроочистки расходуется на: гидрогенолиз сераорганических соединений, гидрирование непредельных углеводородов, потери водорода с отходящими потоками (отдувом и жидким гидрогенизатором). Расход водорода на гидрогенолиз сераорганических соединений находится по формуле:

$$G_1 = m \Delta S, \quad (2.4)$$

где  $G_1$  - расход 100%-го водорода, %(масс.) на сырье;

$\Delta S$  - количество серы, удаляемое при гидроочистке, %(масс.) на сырье;

$m$  - коэффициент, зависящий от характера сернистых соединений.

Значение  $m$  для свободной серы равно 0,0625, для меркаптанов – 0,062, дисульфидов – 0,0938, тиофенов – 0,250 и бензотиофенов – 0,187.

Наиболее стабильны при гидроочистке тиофеновые соединения, поэтому при расчете принимаем, что вся остаточная сера (0,05% (масс.) на сырье) в гидрогенизаторе тиофеновая, а остальные сераорганические соединения полностью разлагаются.

При этом получаем:

$$G_1 = S_M \cdot m_M + S_C \cdot m_C + S_D \cdot m_D + (S_T - S_K) m_T = 0,04 \cdot 0,062 + 0,24 \cdot 0,125 + 0,05 \cdot 0,0938 + (0,16 - 0,05) \cdot 0,250 = 0,0024 + 0,03 + 0,0046 + 0,0275 = 0,0645$$

Расход водорода на гидрирование непредельных углеводородов равен:

$$G_2 = 2 \Delta G_H / M, \quad (2.5)$$

где  $G_2$  - расход 100% водорода % (масс.) на сырье,

$M$  - средняя молекулярная масса сырья;

$G_H$  - разность содержания непредельных углеводородов в сырье и гидрогенизаторе, %(масс.) на сырье, считая на моноолефины.

Среднюю молекулярную массу сырья рассчитаем по формуле:

$$M = 44,29 \cdot d_{15}^{15} / (1,03 - d_{15}^{15}) \quad (2.6)$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

$$M=44,29 \cdot 0,8244 / 1,03 - 0,8244 = 36,51 / 0,2059 = 177,6.$$

Принимая, что степень гидрирования непредельных углеводородов (10%) и гидрогенолиза сернистых соединений одинакова:

$$G_2 = 2 \cdot 10 \cdot 0,9 / 177,6 = 0,101$$

Мольную долю водорода, растворенного в гидрогенизате, можно рассчитывать из условий фазового равновесия в газосепараторе высокого давления:

$$X'_{H_2} = Y'_{H_2} / K_p, \quad (2.7)$$

где  $X'_{H_2}$  и  $Y'_{H_2}$  – мольные доли водорода в паровой и жидких фазах;

$K_p$  – константа фазового равновесия (для газосепаратора высокого давления при 40°C,  $K_p=30$ ).

$$X'_{H_2} = 0,8 / 30 = 0,027$$

Потери водорода от растворения в гидрогенизате  $G_3$  (%масс.) на сырье составляют:

$$G_3 = X'_{H_2} \cdot M_{H_2} \cdot 100 / X'_{H_2} \cdot M_{H_2} + (1 - X'_{H_2}) \cdot M \quad (2.8)$$

$$G_3 = 0,027 \cdot 2 \cdot 100 / 0,027 \cdot 2 + (1 - 0,027) \cdot 177,6 = 5,4 / 0,054 + 172,8 = 0,031 \% (\text{масс.})$$

Кроме этих потерь имеют место потери водорода за счет деформации водорода через стенки аппаратов и утечки через неплотности, так называемые механические потери. Механические потери  $G_4$  (%масс.) на сырье равны:

$$G_4 = \alpha \cdot 0,01 \cdot M_{H_2} \cdot 100 / (\rho_0 \cdot 22,4), \quad (2.9)$$

где  $\alpha$  – кратность циркуляции водородсодержащего газа,  $\text{нм}^3/\text{м}^3$ ;

$\rho_0$  – плотность сырья,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

$$G_4 = 200 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 100 / (824,4 \cdot 22,4) = 0,022 \% (\text{масс.})$$

Потери водорода с отдувом.

На установки гидроочистки обычно подается водородсодержащий газ (ВСГ) с установок каталитического риформинга, в котором содержание концентрации водорода колеблется от 70 до 85%(об.)

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Состав водородсодержащего газа, при производстве автомобильного бензина с октановым числом 85:

Содержание компонента	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	∑C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
% (об.)	85,0	7,0	5,0	2,0	1,0
% (масс.)	29,4	19,4	26,0	15,2	10,0

Объемный баланс по водороду и углеводородным газам записывают в следующем виде:

$$V_0 \cdot y'_0 = V_p + V_{отд} \cdot y', \quad (2.10)$$

$$V_0 \cdot (1 - y'_0) + V_{г.к} = V_a + V_{отд}(1 - y'), \quad (2.11)$$

где  $V_0, V_{г.к}, V_a, V_{отд}, V_p$  – объемы свежего ВСГ, химически реагирующего и сорбируемого гидрогенизатором водорода, отдува, газов гидрокрекинга и газов, абсорбируемых жидким гидрогенизатором, м<sup>3</sup>/ч;

$y'_0, y'$  - объемные концентрации водорода в свежем и циркулирующем ВСГ.

Решением этой системы уравнений получаем объем газов отдува:

$$V_{отд} = V_p \cdot ((1 - y'_0) + V_{г.к} - V_a) \cdot y'_0 / (y'_0 - y') \quad (2.12)$$

Объем водорода в отдуваемом газе равен  $V_{отд} \cdot y'$ . Тогда общий расход водорода с учетом газа отдува составит:

$$V_{отд} + V_p = V_p \cdot [1 + ((1 - y'_0) \cdot y'_0 / (y'_0 - y'))] + (V_{г.к} - V_a) \cdot (y'_0 - y' / (y'_0 - y')) \quad (2.13)$$

Расчет ведем на 100 кг, так как при этом абсолютные значения расходных показателей (в % масс.) можно использовать с размерностью кг:

$$V_p = 0,387 \cdot 22,4 / 2 = 4,34 \text{ м}^3$$

$$V_{г.к} = 0,54 \cdot 22,4 / M_{г.к} = 0,54 \cdot 22,4 / 37 = 0,327 \text{ м}^3$$

Содержание отдельных компонентов в циркулирующем газе константы фазового равновесия в условиях газосепаратора высокого давления (40<sup>0</sup>С и 0,5МПа) приведен ниже:

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
Содержание компонента у <sup>i</sup> , мольные доли	0,2	0,05	0,02	0,01
Константа фазового равновесия K <sub>рi</sub>	3,85	1,2	0,47	0,18

Количество абсорбируемого компонента i в кг на 100кг гидрогенизата:

$$g_i = x_i \cdot M_i \cdot 100 / M_r \quad (2.14)$$

Количество абсорбируемого компонента i (v<sub>i</sub>, м<sup>3</sup> на 100кг гидрогенизата) составляет:

$$v_i = g_i \cdot 22,4 / M_i = x_i \cdot M_i \cdot 100 / M_r \cdot 22,4 / M_i = x_i \cdot 100 \cdot 22,4 / M_r$$

$$x'_i = y'_i / K_{рi} \quad (2.15)$$

Подставляя для каждого компонента соответствующие данные, получим объем компонента, растворенного в гидрогенизате:

$$V_1 = V_{\text{метана}} = y_{\text{метана}} / K_{рi_{\text{метана}}} \cdot 100 \cdot 22,4 / M_r = 0,2 / 3,85 \cdot 100 \cdot 22,4 / 177,6 = 0,655 \text{ м}^3$$

$$V_2 = V_{\text{этана}} = y_{\text{этана}} / K_{рi_{\text{этана}}} \cdot 2240 / M_r = 0,05 \cdot 22,4 / 1,2 \cdot 177,6 = 0,526 \text{ м}^3$$

$$V_3 = V_{\text{пропана}} = y_{\text{пропана}} / K_{рi_{\text{пропана}}} \cdot 2240 / M_r = 0,02 \cdot 2240 / 0,47 \cdot 177,6 = 0,526 \text{ м}^3$$

$$V_4 = V_{\text{бутана}} = y_{\text{бутана}} / K_{рi_{\text{бутана}}} \cdot 2240 / M_r = 0,01 \cdot 2240 / 0,18 \cdot 177,6 = 0,700 \text{ м}^3$$

Суммарный объем абсорбированных газов будет равен:

$$\sum V_i = V_{\text{метана}} + V_{\text{этана}} + V_{\text{пропана}} + V_{\text{бутана}} \quad (2.16)$$

$$\sum V_i = 0,655 + 0,525 + 0,537 + 0,700 = 2,48 \text{ м}^3$$

Балансовый объем углеводородных газов определяем по формуле:

$$V_0 \cdot (1 - y'_0) + V_{г.к} \leq V_a \quad (2.17)$$

$$4,34 \cdot (1 - 0,855) + 0,327 \approx 0,98 < V_a$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Так как равенство выполняется, возможна работа без отдува части циркулирующего водородсодержащего газа (ЦВСГ). Таким образом, общий расход водорода в процессе гидроочистки будет складываться из водорода, поглощаемого при химической реакции, абсорбируемого в газосепараторе высокого давления и механически теряемого.

$$G_{\text{водорода}} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = 0,0645 + 0,101 + 0,031 + 0,022 = 0,219\% \text{ (масс.)}$$

Расход свежего ВСГ на гидроочистку равен:

$$G^{\circ}_{\text{водорода}} = G_{\text{водорода}} / 0,29 = 0,219 / 0,29 = 0,755\% \text{ (масс.)}, \quad (2.18)$$

где 0,29-содержание водорода в свежем ВСГ, % (масс.)

### 2.2.2 Материальный баланс установки

На основании полученных данных составляем материальный баланс установки (таблица 2.1).

Вначале рассчитываем выход сероводорода:

$$V_{\text{сероводорода}} = \Delta S \cdot M_{\text{сероводорода}} / M_s = 0,44 \cdot 34 / 32 = 0,468\% \text{ (масс.)} \quad (2.19)$$

Таким образом, балансовым сероводородом поглощается  $0,468 - 0,44 = 0,028\%$  (масс.) водорода.

Количество водорода вошедшего при гидрировании в состав дизельного топлива равно:

$$G_1 + G_2 - 0,028 = 0,0645 + 0,101 - 0,028 = 0,138\% \text{ (масс.)}$$

Уточненный выход гидроочищенного дизельного топлива, равен:

$$98,99 + 0,138 = 99,13\%$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Выход сухого газа, выводимого с установки, складывается из углеводородных газов, поступающих со свежим ВСГ, газов, образующихся при гидрогенолизе, а также абсорбированного гидрогенизатором водорода:

$$V_{с.г.} = 0,755 \cdot (1 - 0,29) + 0,132 + 0,031 = 0,536 + 0,132 + 0,031 = 0,699\%(\text{масс.})$$

Таблица 2.1 - Материальный баланс установки

Наименование потоков	%(масс.)	Т/год	Т/сутки	Кг/ч
Взято:				
Дизельное топливо (неочищенное)	100	2100000	6562,5	273437,5
ВСГ,	0,755	15855	49,55	2064,6
в том числе 100% водород	0,219	4599	14,37	598,8
Итого	100,75	2115855	6612,05	275502,1
Получено:				
Дизельное топливо (очищенное)	99,13%	2081730	6505,40	271058,6
Сероводород	0,468	9828	30,71	1279,6
Сухой газ	0,72	15120	47,25	1968,8
Бензин	0,44	9240	28,88	1203,3
Итого	100,75	2115918	6612,2	275510

### 2.2.3 Материальный баланс реактора

В реактор поступает сырье, свежий водородсодержащий газ и циркулирующий водородсодержащий газ (ЦВСГ):

Состав ВСГ:

	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Мольная доля у'	0,720	0,200	0,050	0,020	0,010
Массовая доля у	0,192	0,427	0,201	0,103	0,077

Средняя молекулярная масса ЦВСГ M<sub>ц</sub> равна:

$$M_{ц} = \sum M_i y'_i \quad (2.20)$$

$$M_{ц} = 2 \cdot 0,720 + 16 \cdot 0,2 + 30 \cdot 0,05 + 44 \cdot 0,02 + 58 \cdot 0,01 = 7,6 \text{ кг/кмоль}$$

Расход ЦВСГ на 100 кг сырья G<sub>ц</sub>:

$$G_{ц} = 100 \cdot \alpha \cdot M_{ц} / \rho_c \cdot 22,4 = 100 \cdot 200 \cdot 7,6 / 824,4 \cdot 22,4 = 8,23 \text{ кг} \quad (2.21)$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Составляем материальный баланс реактора гидроочистки (таблица 2.2).

Таблица 2.2 - Материальный баланс реактора

Наименование потоков	%(масс.)	Кг/т
Взято:		
Сырье		
Свежий водородсодержащий газ	100	273437,5
ЦВСГ	0,755	2064,6
Итого	108,99	298006
Получено:		
Дизельное топливо очищенное	99,13	271058,6
Сероводород	0,468	1279,6
Сухой газ	0,72	1968,8
Бензин	0,44	1203,3
ЦВСГ	8,23	22503,9
Итого	108,99	298014

#### 2.2.4 Тепловой баланс реактора

Уравнения теплового баланса реактора гидроочистки:

$$Q_c + Q_{ц} + Q_s + Q_{г.н} = \sum Q_{см}, \quad (2.22)$$

где  $Q_c, Q_{ц}$  – тепло, вносимое в реактор со свежим сырьем и циркулирующим водородсодержащим газом;

$Q_s, Q_{г.н}$  – тепло, выделяемое при протекании реакций гидрогенолиза сернистых и гидрирования непредельных соединений;

$\sum Q_{см}$  – тепло, отводимое из реактора реакционной смесью.

Средняя теплоемкость реакционной смеси при гидроочистке незначительно изменяется в ходе процесса, поэтому тепловой баланс реактора можно записать в следующем виде:

$$G_{ct0} + \Delta S q_s + \Delta C_n q_n = G_{ct}, \quad (2.23)$$

$$t = t_0 + (\Delta S q_s + \Delta C_n q_n) / (G_c), \quad (2.24)$$

где  $G$  - суммарное количество реакционной смеси, %(масс.);

$c$  - средняя теплоемкость реакционной смеси, кДж/(кг·К);

$\Delta S, \Delta C_H$  – количество серы и непредельных, удаленных из сырья, %(масс.);

$t$  и  $t_0$  – температуры на входе в реактор и при удалении серы  $\Delta S$ , °С;

$q_s$  и  $q_H$  – тепловые эффекты гидрирования сернистых и непредельных соединений, кДж/кг.

Температура процесса составляет 350°С, суммарное количество реакционной среды на реактор составляет 108,99 кг, количество серы, удаленное из сырья  $\Delta S=0,44\%$ (масс.) Глубину гидрирования непредельных углеводородов можно принять равной глубине обессеривания:

$$\Delta C_H = C_H \cdot 0,9 = 10 \cdot 0,9 = 9\%(\text{масс.}) \quad (2.25)$$

Количество тепла, выделяемое при гидрогенолизе сернистых соединений (на 100 кг сырья) при заданной глубине обессеривания, равной 0,9, составит:

$$Q_s = \sum q_{si} \cdot g_{si}, \quad (2.26)$$

где  $q_{si}$  – тепловые эффекты гидрогенолиза отдельных сераорганических соединений, кДж/кг;

$g_{si}$  – количество, разложенных сераорганических соединений, кг (при расчете на 100 кг сырья оно численно равно содержанию отдельных сераорганических соединений в % (масс.)).

Таким образом,  $Q_s = 0,1 \cdot 2100 + 1,0 \cdot 38,10 + 0,2 \cdot 5060 + 0,5 \cdot 8700 = 8471 \text{ кДж}$ .

Количество тепла, выделяемое при гидрировании непредельных углеводородов равно  $q_H = 126000$  кДж/моль, тогда:

$$Q_H = \Delta C_H \cdot q_H / M \quad (2.27)$$

$$Q_H = 9 \cdot 12600 / 2095421 \text{ кДж}$$

Среднюю теплоемкость ЦВСГ находим на основании данных по теплоемкости отдельных компонентов (таблица 2.3).

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Таблица 2.3 - Теплоемкость отдельных компонентов

Теплоемкость	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
C <sub>p</sub> кДж/кг·К	14,57	3,35	3,29	3,23	3,18
C <sub>p</sub> ккал/(кг·°С)	3,48	0,800	0,786	0,772	0,760

Теплоемкость ЦВСГ находим по формуле:

$$C_{ц} = \sum C_{p_i} \cdot y_i, \quad (2.28)$$

где C<sub>p<sub>i</sub></sub> – теплоемкость отдельных компонентов с учетом поправок на температуру и давления, кДж/кг·К;

y<sub>i</sub> – массовая доля каждого компонента в ЦВСГ

$$C_{ц} = 14,57 \cdot 1,192 + 3,35 \cdot 0,427 + 3,29 \cdot 0,201 + 3,23 \cdot 0,103 + 3,18 \cdot 0,077 = 5,45 \text{ кДж/кг·К}$$

Энтальпия паров сырья при 350°С равна J<sup>350</sup> = 1050 кДж/кг.

Поправку на давление находят по значениям приведенных температуры и давления.

Абсолютная критическая температура сырья равна:

$$T_{кр} = 350 + 273/733 = 0,845$$

Критическое давление сырья вычисляют по формуле:

$$P_{кр} = 0,1 \cdot T_{кр} \cdot K / M_c, \quad (2.29)$$

где  $K = 1,216 \cdot \sqrt[3]{T_{cp} / d^{15}} = 1,216 \cdot \sqrt[3]{275 + 273 / 0,8244} = 12,02$

$$P_{кр} = 0,1 \cdot 733 \cdot 12,02 / 209 = 4,22 \text{ МПа}$$

Тогда приведенное давление равно:

$$P_{пр} = P / P_{кр} = 4 / 4,22 = 0,95 \quad (2.30)$$

Для найденных значений  $T_{пр}$  и  $P_{пр}$

$$\Delta JM/(4,2T)=4,19$$

$$\Delta J=4,19 \cdot 4,2 \cdot 623/209=52,6 \text{кДж/кг}$$

Энтальпия сырья с поправкой на давление равна:

$$J^{350}=1050-52,6=997,4 \text{кДж/кг}$$

Теплоемкость сырья с поправкой на давление равна:

$$C_c=997,4/623=1,6 \text{кДж/(кг} \cdot \text{K)}$$

Средняя теплоемкость реакционной смеси составляет:

$$c=C_c \cdot 100+C_{ц} \cdot 8,99/108,99=1,6 \cdot 100+5,45 \cdot 8,99/108,99=160+0,45=160,45 \text{кДж/(кг} \cdot \text{K)}$$

Подставив найденные величины в это уравнение , находим температуру на выходе из реактора:

$$t=t_0+(Sq_s+C_{н}q_{н})/(Gc) \quad (2.31)$$

$$t=350+(8471+5421)/(108,99+160,45)=350,8^{\circ}\text{C}.$$

## 2.2.5 Расчет основных параметров реактора гидроочистки

Для того, чтобы рассчитать диаметр и высоту реактора, сначала необходимо рассчитать объем катализатора.

Требуемый объем катализатора в реакторе  $V_k$  вычисляют по формуле:

$$V=G' \int_{s=0,2}^{n=0,2} dS/r, \quad (2.32)$$

где  $G'=G/\rho=273437,5/824,4=331,68 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;

Тогда:

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$V_k = 331,68 \cdot 0,2235 = 74,13 \text{ м}^3$$

Также найдем объемную скорость подачи сырья, то есть отношение объема жидкого сырья, подаваемого на объем катализатора в час:

$$\omega = G' / V_k \quad (2.33)$$

$$\omega = 331,68 / 74,13 = 4,47 \text{ ч}^{-1}$$

По найденному значению  $V_k$  вычисляем геометрические размеры реактора гидроочистки.

Принимаем цилиндрическую форму реактора и соотношение высоты к диаметру 2:1 или  $H=2D$ . Тогда:

$$V_k = \pi D^2 H = \pi D^2 \cdot 2D = 2 \pi D^3 \quad (2.34)$$

Диаметр реактора равен:

$$D = [V_k / (2\pi)]^{1/3} \quad (2.35)$$

$$D = [116,11 / (2\pi)]^{1/3} = \sqrt[3]{V_k / 2\pi} = \sqrt[3]{74,13 / 2 \cdot 3,14} = \sqrt[3]{11,8} = 3,6 \text{ м}$$

Высота слоя катализатора равна:

$$H = 2 \cdot D = 2 \cdot 2,28 = 4,6 \text{ м} \quad (2.36)$$

Приемлемость принятой формы реактора дополнительно проверяется гидравлическим расчетом реактора. Потери в напоре слоя катализатора не должны превышать 0,2-0,3 МПа.

Реактор заполняют катализатором на 1/2 высоты цилиндрической части аппарата. Следовательно, высота цилиндрической части реактора равна:

$$h_{\text{цил}} = H \cdot 2/1, \quad (2.37)$$

$$h_{\text{цил}} = 4,6 \cdot 2/1 = 9,2 \text{ м.}$$

Общая высота реактора:

$$H_{\text{общ}} = h_{\text{цил}} + 2 \cdot h_{\text{дн}}, \quad (2.38)$$

где  $h_{\text{дн}}$  - высота верхнего и нижнего днища, которая принимается равной 1/2 d, т.е.:

					<i>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

$$H_{\text{общ}} = h_{\text{цил}} + d, \quad (2.39)$$

$$H_{\text{общ}} = 9,2 + 2,3 = 11,5 \text{ м.}$$

## 2.2.6 Расчет потери напора в слое катализатора

Потерю напора в слое катализатора:

$$\Delta P/H = (150 \cdot (1-\varepsilon)^2 \cdot 0,1\mu) / (\varepsilon^3 d^2) + (1,75 \cdot (1-\varepsilon) \cdot \rho u^2) / (\varepsilon^3 dg), \quad (2.40)$$

где  $\varepsilon$  - порозность слоя;

$u$  - линейная скорость движения потока, фильтрующегося через слой катализатора, м/с;

$\mu$  - динамическая вязкость, Па·с;

$d$  - средний диаметр частиц, м;

$\rho$  - плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  - ускорение силы тяжести, кг/с<sup>2</sup>;

Порозность слоя находим по формуле:

где  $\gamma_n$  - насыпная плотность катализатора, равная 640 кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma_k$  - кажущая плотность катализатора, равная 1210 кг/м<sup>3</sup>;

$$\varepsilon = 1 - 640/1210 = 0,48$$

Линейная скорость потока:

$$u = 4V / \pi D^2, \quad (2.41)$$

где  $V$  - объем реакционной смеси, включающий объем сырья  $V_c$  и объем ЦВСГ  $V_{\text{ц}}$ , т.е.:

$$V = V_c + V_{\text{ц}} \quad (2.42)$$

Объем сырья находим по формуле:

$$V_c = G_c \cdot 22,4 z_c (t_{\text{ср}} + 273) / M_c P \cdot 273, \quad (2.43)$$

где  $G_c$  - расход сырья в реактор, кг/ч;

$z_c$  - коэффициент сжимаемости (при  $T_{\text{пр}}=0,845$ ,  $P_{\text{пр}}=0,98$ , коэффициент сжимаемости равен 0,25);

$t_{\text{ср}}$  - средняя температура в реакторе, °С:

$$t_{\text{ср}} = 350 + 350,8/2 = 350,4,$$

Тогда:

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$V_c = 273437,5 \cdot 22,4 \cdot 0,1 \cdot 0,25 \cdot (350,4 + 273) / 209 \cdot 4 \cdot 273 = 418,3 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Объем ЦВСГ равен:

$$V_{ц} = G_c \cdot 22,4 z_c (t_{cp} + 273) / (M_c P \cdot 273) \quad (2.44)$$

$$V_{ц} = 22503,9 \cdot 22,4 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot (350,4 + 273) / 7,64 \cdot 273 = 3786,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V = 418,3 + 3786,5 = 4204,8$$

$$\mu = 4 \cdot 4204,8 / 3,14 \cdot (2,3)^2 \cdot 3600 = 16819,2 / 59798,2 = 0,28$$

Динамическую вязкость смеси определяют по ее средней молекулярной массе равной:

$$M_{cp} = (G_c + G_{ц}) / (V_c / M_c + V_{ц} / M_{ц}) \quad (2.45)$$

$$M_{cp} = (273437,5 + 22503,9) / (273437,5 / 209 + 22503,9 / 7,6) = 69,32$$

Динамическая вязкость смеси:

$$\mu = 1,87 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{м}^2$$

Средний диаметр частиц катализатора  $d = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Плотность реакционной смеси в условиях процесса равна:

$$\gamma = G_c + G_{ц} / V_c + V_{ц} = 273437,5 + 22503,9 / 418,3 + 3786,5 = 70,4 \text{ кг} / \text{м}^3 \quad (2.46)$$

Таким образом:

$$\Delta P / H = [150 \cdot (1 - 0,48)^2 \cdot 0,1 \cdot 1,87 \cdot 10^{-6} \cdot 0,28 / 0,483 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2] + [1,75 \cdot (1 - 0,48) \cdot 39,7 \cdot 0,28^2 / 0,48^3 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81] = 2,1237 / 0,442 + 2,8323 / 0,0043 = 663,5 \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{м}$$

$$\Delta P = H \cdot 663,5 = 4,6 \cdot 663,5 = 3052 \text{ кг} / \text{м}^2$$

Таким образом, потеря напора катализатора не превышает предельно допустимых значений.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

## 2.2.7 Расчет регенерации катализатора

Исходные данные приведены ниже:

- количество отложений на катализаторе 8,5%(масс.) Состав отложений, %(масс.): С-81, S-10, Н<sub>2</sub>-9; отложения сгорают полностью с образованием СО<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>O, соответственно;

- предельно допустимая температура разогрева катализатора при регенерации составляет 570°С.

- остаточное содержание кислорода в газе регенерации для полного удаления отложений без перегрева катализатора, а также продолжительность регенерации.

Количество кислорода, теоретически необходимое для полного сжигания 1кг отложений, равно:

до СО<sub>2</sub>:  $0,81 \cdot 32 / 12 = 2,16$  кг;

до SO<sub>2</sub>:  $0,1 \cdot 32 / 32 = 0,1$  кг;

до Н<sub>2</sub>O:  $0,09 \cdot 16 / 2 = 0,72$  кг;

Итого теоретическая потребность кислорода составляет 2,98 кг на 1 кг отложений.

Количество газа регенерации для выжигания 1 кг отложений:

$$G_{г.р} = 2,98 / (X_{O_2} - 0,005), \quad (2.47)$$

где  $X_{O_2}$ -массовая доля кислорода в исходном газе регенерации;

0,005-массовая доля кислорода после регенерации;

$G_{г.р}$  и  $X_{O_2}$  находят из теплового баланса.

Тепловой баланс регенерации (потерями тепла в окружающую среду можно пренебречь):

$$G_{г.р} \cdot t_0 c + q_p = (G_{г.р} + G_{отл}) t_c, \quad (2.48)$$

где  $t_0$  и  $t$  – температуры газа на входе и выходе из реактора, °С;

$c$  - средняя теплоемкость газа регенерации, кДж/(кг·К)

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$c=c_N=1,025 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

$G_{г.р.}$ ,  $G_{г.р.}+G_{отл}$  – массы газа на входе и выходе из реактора, кг (так как тепловой баланс составляет на 1кг отложений, то  $G_{отл}=1$ );

$q_p$  – тепловой эффект реакции сгорания отложений, кДж/кг.

В этом уравнении величиной  $G_{отл}$  можно пренебречь, так как эта величина обычно на два порядка меньше  $G_{г.р.}$ , тогда получим:

$$t= t_0+q_p/(G_{г.р}\cdot c), \quad (2.49)$$

$q_p$  – находят по формуле Менделеева:

$$q_p=4,19\cdot[81C+246H+26(S-O)] \quad (2.50)$$

$$q_p=4,19\cdot[81\cdot 81+246\cdot 9+26\cdot 10]=377766\text{кДж}/\text{кг}.$$

Принимаем температуру на выходе из реактора  $t=570^\circ\text{C}$ , на входе  $t_0=450^\circ\text{C}$ .

$$G_{г.р.}=q_p/(t- t_0)c \quad (2.51)$$

$$G_{г.р.}=37766/(570-450)\cdot 1,025=307$$

Концентрация кислорода в инертном газе равна:

$$X_{O_2}=2,98/ G_{г.р.}+0,005=2,98/307+0,005=0,0147 \quad (2.52)$$

Таким образом, концентрация кислорода в инертном газе должна быть  $\approx 1,5\%$ (масс.); остальные компоненты:

$$N_2=82-86\%(масс.);$$

$$CO_2=7-10\%(масс.);$$

$$SO_2=2-4\%(масс.).$$

Общий объем газа, подаваемого на регенерацию, приведенный к нормальным условиям  $V_{г.р}$  вычисляют по формуле:

$$V_{г.р.}=V_K\cdot\gamma_n\cdot 0,085\cdot G_{г.р}\cdot 22,4/M_{г.р.}, \quad (2.53)$$

где  $V_K, \gamma_n$  – объем катализатора в реакторе  $\text{м}^3$  и его насыпная плотность ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );

0,085-количество отложений в долях от массы катализатора;

$M_{г.р.}$  – молекулярная масса газов регенерации

$$V_{г.р.}=74,13\cdot 640\cdot 0,085\cdot 307\cdot 22,4/28=990424 \text{ м}^3$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Требуемая мощность циркуляционных компрессоров, подающих газ на регенерацию:

$$N_{ц} = 273437,5 \cdot 400 / 824,4 = 132672 \text{ м}^3/\text{ч}$$

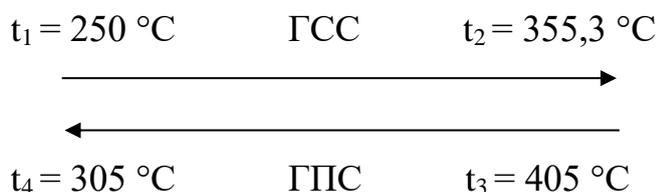
Если кинематические факторы не лимитируют процесс регенерации, минимальная продолжительность регенерации составит:

$$T = V_{г.р} / N_{ц} = 990424 / 132672 = 7,47 \text{ ч} [18] \quad (2.54)$$

### 2.3 Расчет сырьевого теплообменника

В сырьевых теплообменниках происходит нагревание ГСС перед поступлением в печь за счет тепла ГПС, уходящей из реактора.

Температура потоков на входе и на выходе из теплообменника принята на основании проведенных ранее расчетов и по практическим данным [4]. Схема теплообмена приведена ниже:



Уравнение теплового баланса:

$$G_{ГСС} \cdot c_{ср} \cdot (t_2 - t_1) \cdot \eta = G_{ГПС} \cdot c'_{ср} \cdot (t_3 - t_4), \quad (2.55)$$

где  $G_{ГСС}$ ,  $G_{ГПС}$  – массовые расходы ГСС и ГПС соответственно, кг/ч;

$c_{ср}$ ,  $c'_{ср}$  – средняя теплоемкость ГСС и ГПС соответственно, кДж/(кг  $^\circ\text{C}$ );

$\eta$  – КПД теплообменника, учитывающий потери в окружающую среду.

Принимаем  $\eta = 0,95$ .

Согласно материальному балансу  $G_{ГСС} = G_{ГПС} = 187395 \text{ кг/ч}$  (по одному потоку).

С учетом незначительного изменении средней теплоемкости реакционной смеси можно принять  $c_{ср} = c'_{ср} = 2,94 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$ .

Уравнение теплового баланса принимает вид:

$$(t_2 - t_1) \cdot \eta = (t_3 - t_4), \quad (2.56)$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Отсюда определяем температуру ГСС на выходе из теплообменника:

$$T_2 = (t_3 - t_4) / \eta + t_1 = (405 - 305) / 0,95 + 250 = 355,3 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.57)$$

Разность температур:

$$\Delta t_{1-2} = 355,3 - 250 = 105,3; \quad \Delta t_{3-4} = 405 - 305 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$\Delta t_{1-2} / \Delta t_{3-4} = 105,3 / 100,0 = 1,05 < 2$ , поэтому средняя разность температур вычисляется по формуле:

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_{1-2} + \Delta t_{3-4}) / 2, \quad (2.58)$$

Таким образом,  $\Delta t_{cp} = (105,3 + 100,0) / 2 = 102,65 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Определяем тепловую нагрузку теплообменника:

$$Q = G_{ГСС} \cdot c_{cp} \cdot (t_2 - t_1) \cdot \eta; \quad (2.59)$$

$$Q = 187395 \cdot 2,94 \cdot (355,3 - 250,0) \cdot 0,95 = 55,11 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}.$$

Поверхность теплообменника определяется по формуле:

$$F_{т/о} = Q / (K_{тп} \cdot \Delta t_{cp}), \quad (2.60)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи,  $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{ч})$ .

По справочным данным  $K = 150 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{ч}) = 628,5 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{ч})$ .

Тогда поверхность теплообмена по одному потоку составит:

$$F = 55,11 \cdot 10^6 / (628,5 \cdot 102,65) = 854,2 \text{ м}^2.$$

Принимаем на один поток два теплообменника по ГОСТ 13203-77 со следующими характеристиками:

- материал – сталь 16ГС;
- давление –  $P_y = 4,0 \text{ МПа}$ ;
- $D_{в} = 800 \text{ мм}$ ;  $L^* = 7360 \text{ мм}$ ;
- $l = 6000 \text{ мм}$ ;  $l_0 = 3000 \text{ мм}$ ;  $l_3 = 420 \text{ мм}$ ;
- число перегородок – 12;
- $H = 1354 \text{ мм}$ ;  $D_y = 250 \text{ мм}$ ;  $D_{y1} = 250 \text{ мм}$ ;  $A = 750 \text{ мм}$ ;  $A_1 = 5360 \text{ мм}$ .

Условное обозначение по ГОСТ 13203-77 выглядит следующим образом:  
теплообменник 800 ТУ – УКЭ – 4,0 – М12/16 – 6.

					<i>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

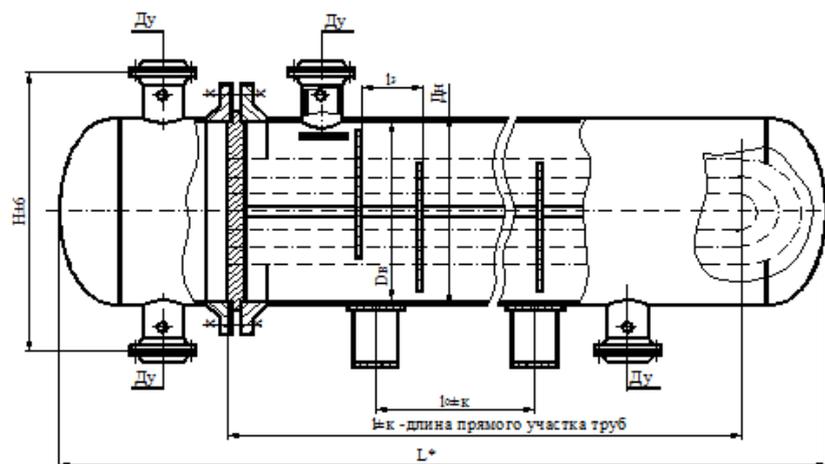


Рисунок 2.2 – Теплообменный аппарат типа ТУ

## 2.4 Уточненный расчет поверхности теплообмена и окончательный выбор типа теплообменного аппарата.

Цель уточненного расчета - оценка правильности подбора теплообменного аппарата. Уточненный расчет теплообменного аппарата выполняется по двум действиям:

- уточненной теплоотдаче в межтрубном пространстве;
- уточненный расчет по внутритрубному пространству.

При уточненном расчете определяется коэффициент теплопередачи –  $k$ .

Коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S_{\text{нв}}}{\lambda_{\text{нв}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.61)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплопередачи от наружной поверхности трубок;

$\frac{S_{\text{нв}}}{\lambda_{\text{нв}}}$  – отношение толщины стенки к коэффициенту теплопроводности ма-

териала трубки;

$\alpha_2$  – коэффициент теплопередачи от внутренней поверхности трубок.

Коэффициент теплопроводности материала трубки для стали, составляет  $\lambda_{\text{нв}} = 25 \div 40$  Вт/(м·к) [26]. В расчетах принимаем  $\lambda_{\text{ст}} = 40$  Вт/(м·к).

Произведем уточненный расчет поверхности теплообмена по уточненной теплоотдаче в межтрубном пространстве.

Рассчитаем линейные скорости движения потоков по следующим формулам:

$$\omega = \frac{G_{CB}}{\rho_t \cdot f_{MTP}} \quad (2.62)$$

где  $G_{CB}$  – расход потока (2), кг/с;

$f_{MTP}$  – площадь проходного сечения между перегородками, м<sup>2</sup>;

$\rho_{t, \text{н\ddot{o}}}$  – плотность продукта в межтрубном пространстве, кг/м<sup>3</sup>;

$f_{TP}$  – площадь проходного сечения в вырезе перегородки, м<sup>2</sup>;

$\rho_t$  – плотность продукта в трубном пространстве при средней температуре, кг/м<sup>3</sup>.

Подставив численные значения величин, найдем значения линейных скоростей движения потоков:

$$\omega = \frac{39,83}{680 \cdot 0,098} = 0,6 \text{ кг/с,}$$

$$\omega = \frac{60,65}{830,6 \cdot 0,059} = 1,23 \text{ кг/с.}$$

Режим потока в трубках устанавливается в зависимости от безразмерного критерия Рейнольдса, который определяется по формуле

$$Re = \frac{\omega \cdot d_t}{\nu}, \quad (2.63)$$

где  $\omega$  – линейная скорость движения потока, кг/с;

$d_t$  – наружный диаметр трубопровода, м;

$\nu$  – кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с.

Определим численное значение числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{0,6 \cdot 0,025}{0,276 \cdot 10^{-6}} = 54347,82.$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Так как критерий Рейнольдса  $Re > 2320$  – движение турбулентное. Для турбулентного режима рекомендуется следующая зависимость:

$$Nu = C \cdot Re^n \cdot Pr^{0,36} \cdot \varepsilon_\phi, \quad (2.64)$$

где  $Nu$  – критерий Нуссельта;

$C$  – коэффициент равный 0,38 для труб расположенных по вершинам квадрата [27];

$n$  – коэффициент равный 0,6 для труб расположенных по вершинам квадрата [27];

$\varepsilon_\phi$  – коэффициент угла атаки, стандартное значение равно 0,6;

$Pr$  – критерий Прандтля.

Критерий Прандтля определяется по формуле:

$$Pr = \frac{C \cdot \mu}{\lambda}, \quad (2.65)$$

где  $C$  – средняя массовая теплоемкость, Дж/(кг·К);

$\lambda$  – теплопроводность, Вт/(м·К);

$\mu$  – динамическая вязкость, Па·с, определяемая по формуле:

$$\mu = \nu \cdot \rho, \quad (2.66)$$

где  $\rho$  – плотность продукта в межтрубном пространстве, кг/м<sup>3</sup>.

$$\mu = 0,276 \cdot 10^{-6} \cdot 680 = 187,68 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Определим значение критерия Прандтля:

$$Pr = \frac{2941,18 \cdot 187,68 \cdot 10^{-6}}{0,079} = 6,98.$$

Определим значение критерия Нуссельта:

$$Nu = 0,38 \cdot 54347,82^{0,6} \cdot 6,98^{0,36} \cdot 0,6 = 318,3.$$

Коэффициент теплопередачи от наружной поверхности трубок определяется по формуле:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_1}, \quad (2.66)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность, Вт/(м·К);

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

$d_n$  – наружный диаметр трубопровода, м.

Определим численное значение коэффициента теплопередачи от наружной поверхности трубок:

$$\alpha_1 = \frac{318,3 \cdot 0,079}{0,025} = 1005,83.$$

Режим потока в межтрубном пространстве устанавливается в зависимости от безразмерного критерия Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_1}{\nu}, \quad (2.67)$$

где  $\omega$  – линейная скорость движения потока, кг/с;

$d_n$  – наружный диаметр трубопровода, м;

$\nu$  – кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с.

$$Re = \frac{1,23 \cdot 0,025}{0,20 \cdot 10^{-6}} = 153750.$$

Так как критерий Рейнольдса  $Re > 2320$  – движение турбулентное. Для турбулентного режима рекомендуется следующая зависимость:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}, \quad (2.68)$$

где  $Nu$  – критерий Нуссельта;

$Pr$  – критерий Прандтля.

Критерий Прандтля определяется по формуле

$$Pr = \frac{C \cdot \mu}{\lambda}, \quad (2.69)$$

где  $C$  – средняя массовая теплоемкость, Дж/(кг·К);

$\lambda$  – теплопроводность, Вт/(м·К);

$\mu$  – динамическая вязкость, Па·с,

$$\mu = \nu \cdot \rho, \quad (2.70)$$

где  $\rho$  – плотность продукта в трубах, кг/м<sup>3</sup>.

Определим численное значение динамической вязкости:

$$\mu = 0,20 \cdot 10^{-6} \cdot 830,6 = 166,12 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Определим значение критерия Прандтля

$$Pr = \frac{2752,4 \cdot 166,12 \cdot 10^{-6}}{0,172} = 2,66.$$

Определим значение критерия Нуссельта

$$Nu = 0,021 \cdot 153750^{0,8} \cdot 2,66^{0,43} = 451,2.$$

Коэффициент теплопередачи внутри трубок

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_i}, \quad (2.71)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность, Вт/(м·К);

$d_i$  – наружный диаметр трубопровода, м.

Определим численное значение коэффициента теплопередачи внутри трубок

$$\alpha_2 = \frac{451,2 \cdot 0,172}{0,025} = 3104,26.$$

Уточненная поверхность теплообменного аппарата:

$$F_{уточ} = \frac{Q}{k \cdot \Delta t}, \quad (2.72)$$

где  $k$  – рассчитанный коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·к);

$Q$  – количество передаваемого тепла, Вт.

Определим коэффициент теплопередачи  $k$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{1005,83} + \frac{0,002}{40} + \frac{1}{3104,26}} = 100,88.$$

Определим численное значение уточненной поверхности теплообмена теплообменного аппарата

$$F_{уточ} = \frac{3338661,2}{100,88 \cdot 74,89} = 441,9 \text{ м}^2.$$

Таким образом, окончательно принимаем теплообменный аппарат типа ТУ. Теплообменник 800 ТУ – УКЭ – 4,0 – М12/20 – 6 - ГОСТ 13203-77.,

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

### 3 Механический расчет реактора гидроочистки

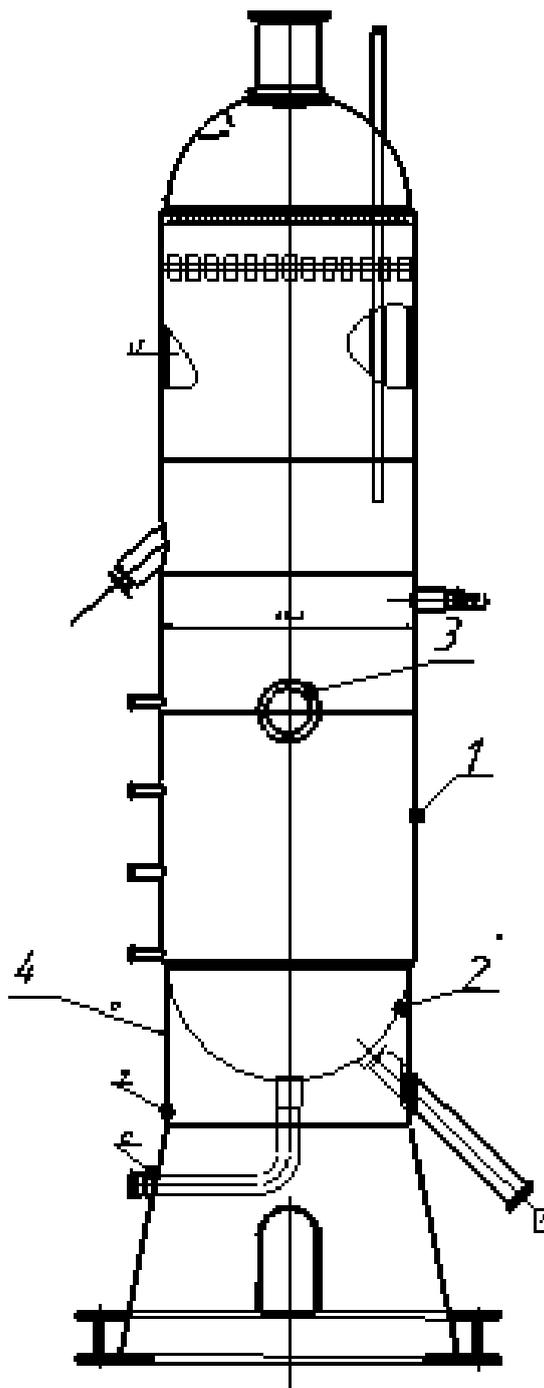


Рисунок 2.3 Упрощённая модель реактора полимеризации:

- 1 - полусферическая крышка;
- 2 - цилиндрическая обечайка;
- 3 - люк-лаз;
- 4 - опорная обечайка;

ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Кудашев С.М.				Механический расчет реактора гидроочистки		
Провер.	Беляев В.М.						
Консульт.							
Н. Контр.							
Утверд.	Беляев В.М.						
					Лит.	Лист	Листов
						51	14
					4KM71		

**Исходные данные:**

Внутренний диаметр аппарата, м:

$$D := 3.56$$

Рабочее давление среды, МПа:

$$P := 6$$

Коэффициент прочности сварных швов:

$$\phi := 0.95$$

Допускаемое напряжение стали при  $t=20$  С, МПа:

$$\sigma_{d20} := 147$$

Допускаемое напряжение стали при  $t=430$  С, МПа:

$$\sigma_{d430} := 120$$

Плотность рабочей среды,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho_c := 824$$

Скорость коррозии материала, мм/год:

$$П := 0.1$$

Предполагаемый срок службы аппарата, лет:

$$\tau := 20$$

Высота цилиндрической части, мм:

$$H := 8300$$

Ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ 

$$g := 9.8$$

Плотность воды,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho_B := 1000$$

**Расчётные параметры :**Расчётное значение предела текучести для стали марки 12ХМ при  $t=420$  по, МПа

$$R_{02} := 194$$

Расчётное значение предела текучести при  $20$  °С для стали 12ХМ согласно, МПа:

$$R_{e20} := 220$$

Коэффициент запаса прочности при гидравлическом испытании по , МПа:

$$n_t := 1.1$$

Коэффициент запаса прочности:

$$\eta := 1$$

Так как аппарат изготовлен из листового проката:

$$\eta_s := 1$$

$$\sigma_d := \eta \cdot \sigma_{d430} = 120$$

Допускаемое напряжение для стали 12ХМ по, при температуре  $20$  °С, МПа

$$\sigma_{d20} := \eta \cdot \sigma_{d20} = 147$$

Находим допускаемое напряжение стали 12ХМ при гидравлических испытаниях по формуле, МПа:

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

$$\sigma_{н} := \frac{R_{e20}}{1.1} = 200$$

Расчётное значение внутреннего избыточного давления, МПа:

$$P'_p := P + \frac{(\rho_v \cdot g \cdot H)}{10^9} = 6.081$$

Пробное давление при гидравлических испытаниях, рассчитываем в соответствии с формулой, МПа:

$$P_{н} := 1.25 \cdot P'_p \cdot \frac{\sigma_{d20}}{\sigma_{d430}} = 9.312$$

Модуль упругости, МПа при температуре 430 °С, МПа:

$$t := (20 \ 100 \ 200 \ 300 \ 400 \ 500 \ 600)^T$$

$$E := (2.16 \ 2.1 \ 2.04 \ 1.99 \ 1.93 \ 1.82 \ 1.73)^T$$

$$E := \text{Floor}(\text{linterp}(t, E, 430), 0.05) = 1.85$$

$$E := 1.85 \cdot 10^5 = 1.85 \times 10^5$$

Модуль упругости для стали 12ХМ при температуре испытания 20 °С согласно [8]

$$E_{20} := 2.16 \cdot 10^5 = 2.16 \times 10^5$$

Прибавка к расчётной толщине стенки для компенсации коррозии определяем по формуле [5, с10], м:

$$c_k := \Pi \cdot \tau \cdot 10^{-3} = 2 \times 10^{-3}$$

Прибавка минусовой допуск, мм:

$$c_m := 3$$

Прибавка на плакирующий слой, мм:

$$c_{пл} := 7$$

Прибавка к расчётной толщине стенки с учетом прибавки минусового допуска и плакирующего слоя, м:

$$c := c_k + c_m + c_{пл} = 10.002$$

$$c := c \cdot 10^{-3} = 0.01$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

### 3.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки(1)

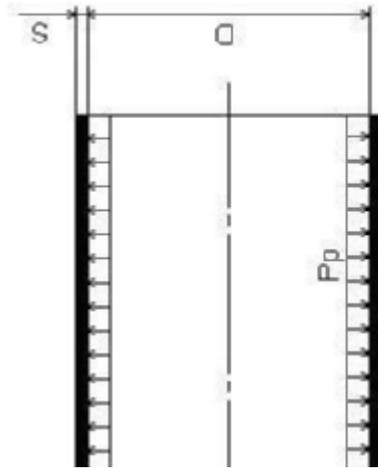


Рис. 2.4 - Расчетная схема толщины цилиндрической обечайки

Целью расчёта толщины цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением, является определение исполнительной толщины стенки исходя из условий прочности.

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки ведётся согласно[29], а также в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии[15].

Расчёт производится при давлении гидравлического испытания и при рабочем давлении в реакционном пространстве.

Максимальная исполнительная толщина стенки из условия прочности, мм:

$$s_p := \max\left(P'_p \cdot \frac{D}{2\phi \cdot \sigma_d - P'_p}, P'_n \cdot \frac{D}{2\phi \cdot \sigma_n - P'_n}\right) = 0.098$$

Максимальная исполнительная толщина стенки обечайки из условия прочности, м

$$s := s_p + c = 0.108$$

$$s := 0.110$$

Принимаем максимальное значение толщины стенки обечайки и округляем до стандартного значения  $s=115$  мм.

$$s := 115 \cdot 10^{-3}$$

м

Проверка условия применения формул для обечаек при  $D > 200$  мм

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s - (c)}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Пров\_1 = "Условие применения формул выполняется"**

Находим допускаемое давление по формулам:

$$P_d := \frac{2\phi \cdot \sigma_{d430} \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 6.532$$

МПа

для рабочих условий

для условий испытаний

$$P_{di} := \frac{2\phi \cdot \sigma_n \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 10.887$$

МПа

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Проверка выполняется"} & \text{if } \begin{cases} P < P_d \\ P_n < P_{di} \end{cases} \\ \text{"Проверка НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Проверка1 = "Проверка выполняется"**

### 3.2 Расчет стандартных полусферического днища

Целью расчёта толщины стенки полусферического днища, нагруженных внутренним избыточным давлением, является определение исполнительной толщины стенки исходя из условий прочности. На рисунке представлена схема полусферического днища с необходимыми для расчета размерами и нагрузками.

Расчёт толщины стенки полусферического днища ведётся согласно [30]

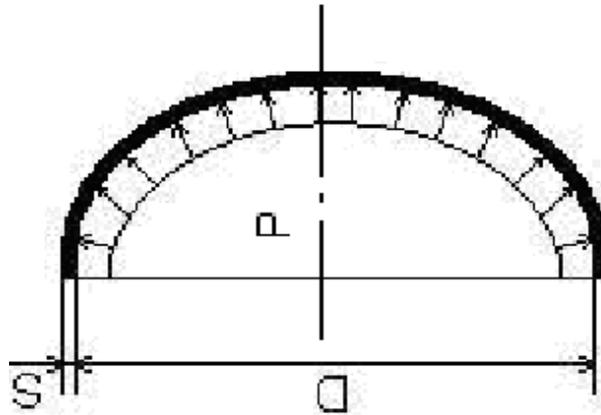


Рисунок 2.5 Расчетная схема расчета полусферического днища

Высота днища без учёта цилиндрической части, м:

$$H := 0.5D = 1.78$$

Радиус кривизны в вершине днища по внутренней поверхности, м:

$$R := \left( \frac{D^2}{4H} \right) = 1.78$$

Коэффициент прочности сварных швов для крышек, изготовленных из одной заготовки (штамповкой):

$$\phi := 1$$

Расчет толщины стенки полусферического днища производится при давлении гидравлического испытания и при рабочем давлении, м:

$$s_{kr} := \max \left( \frac{P'_p \cdot R}{2\phi \cdot \sigma_{d430} - 0.5P'_p}, \frac{P_n \cdot R}{2\phi \cdot \sigma_n - 0.5P_n} \right) = 0.046$$

Толщина стенки с учётом добавки на коррозию и на компенсацию минусового допуска, м:

$$s_k := s_{kr} + c = 0.056$$

Примем толщину, м:

$$s_k := 0.060$$

Из условия округления толщины стенки эллиптической крышки принимаем максимальное значение толщины и округляем до толщины обечайки,  $S_k=115$  мм.

$$s_k := 115 \cdot 10^{-3}$$

м

Находим допускаемое давление по формулам:

при рабочих условиях:

$$P_{dkp} := \frac{2\phi \cdot \sigma_{d430} \cdot (s_k - c)}{D + 0.5(s_k - c)} = 6.976$$

						Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	

МПа

при гидравлических испытаниях:

$$P_{dki} := \frac{2\phi \cdot \sigma_H \cdot (s_k - c)}{D + 0.5(s_k - c)} = 11.626$$

МПа

Таким образом:

Для полусферической крышки

$$\text{Проверка1} := \begin{cases} \text{"Проверка выполняется"} & \text{if } \left. \begin{array}{l} P < P_{dkp} \\ P_H < P_{dki} \end{array} \right\} \\ \text{"Проверка НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка1 = "Проверка выполняется"

Таким образом, при толщине стенки  $S=115$  мм обеспечивается прочность полусферической крышки, при толщине стенки  $S=115$  мм обеспечивается прочность цилиндрической обечайки вертикально стоящего реактора, как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

### 3.3 Расчет штуцеров

#### Технологический расчет штуцеров

$Q_H := 331$  м<sup>3</sup>/ч - объемная производительность неочищенного дизельного топлива

$Q_r := 52$  м<sup>3</sup>/ч - объемная производительность ВСГ;

Расчет диаметров штуцеров проводим по формуле:

$$d_y = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega}}$$

где  $\omega$  - скорость движения сырья, принимаем скорость движения равную  $\omega := 1$  м/с

$\omega_1$  - скорость движения ВСГ, принимаем скорость движения равную  $\omega_1 := 2$  м/с

Штуцер для ввода и вывода сырья

$$d_y := \sqrt{\frac{4 \cdot Q_H}{\pi \cdot \omega \cdot 3600}} = 0.342$$

м

Принимаем штуцер с  $D_y=350$  мм

Штуцер для ввода пара:

$$d_r := \sqrt{\frac{4 \cdot Q_r}{\pi \cdot \omega_1 \cdot 3600}} = 0.096$$

м

Принимаем штуцер с  $D_y=150$  мм

Остальные диаметры штуцеров принимаем конструктивно, исходя из функционального назначения.

Таблица 3.1 – Подобранные патрубки

Назначение штуцера	Диаметр патрубка, Мм	Длина патрубка, мм	Условный диаметр, мм	Количество, шт	$P_y$ , МПа	Масса, кг
Отвод газообразных соединений	80x8	8	80	1	6	12
Для термопары	219x18	150	200	7	6	13
Ввод сырья	377x20	200	350	1	6	45,8
Ввод водородсодержащего газа	370x20	200	350	1	6	45,8
Вывод продуктов гидроочистки	370x20	200	350	1	6	45,8
Люк - лаз	530x14	24	500	1	6	32
Вывод катализатора	530x14	24	500	2	6	42

По значениям условных диаметров и условных давлений (табл.3.1) по [43, табл 7] подбираем фланцы 4 типа. Параметры фланцев указаны в таблицах 3.2

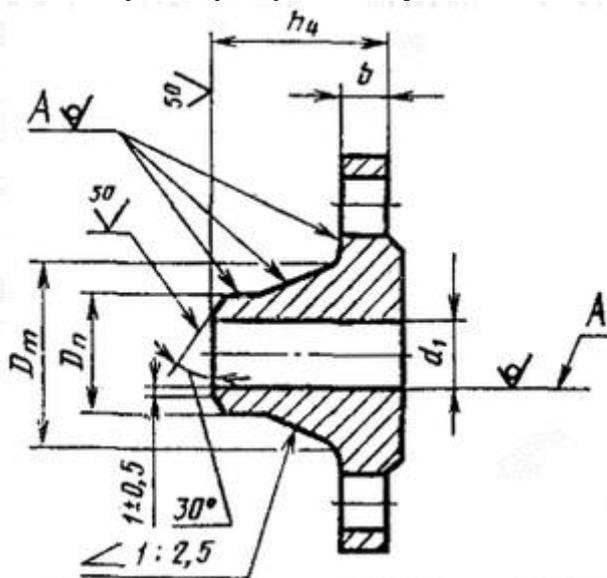
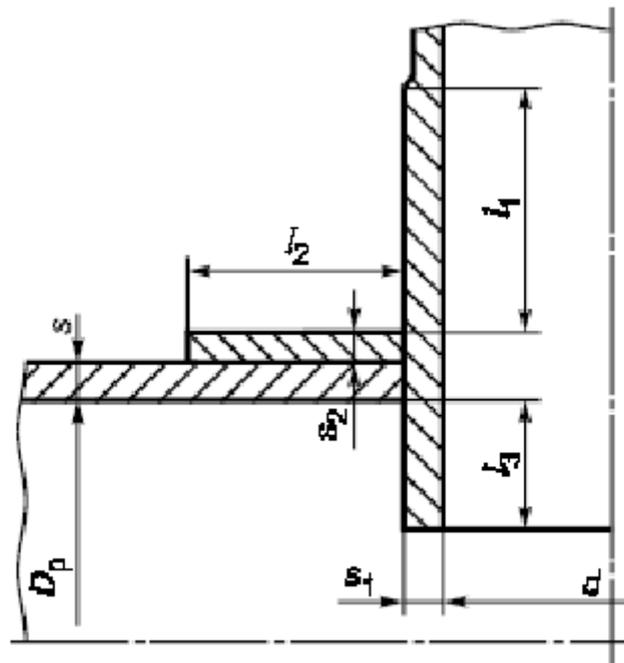


Рисунок 2.12 Фланец арматуры, соединительных частей и трубопроводов

Таблица 3.2 Параметры для плоских фланцев

Условный диаметр, мм	$d_1$	$b$	Количество, шт	$h_4$	$D_m$	$D_n$
80	80	18	1	58	6	
200	219	44	7	110	235	222
350	342	60	1	150	430	420
350	342	60	1	150	430	420
350	342	60	1	150	430	420
500	485	70	1	140	594	562
500	485	70	2	140	594	562

### 3.3.1 Расчет необходимости укрепления отверстия в цилиндрической обечайке[39]



а

Рисунок 2.13 Схема расчёта укрепления отверстий

#### Исходные данные:

Внутренний диаметр цилиндрической обечайки, мм:

$$D_p := 3560$$

Внутренний диаметр отверстия, мм:

$$d := 485$$

Рабочее давление, МПа:

$$P = 6$$

Температура, °C:

$$t_c := 430$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки, мм:

$$s_1 := 115$$

Расчетная толщина цилиндрической обечайки, мм:

$$s_p := 98$$

Прибавка к толщине стенки:

$$c_s := 14$$

мм

Исполнительная толщина стенок, мм:

$$s := 29$$

Допускаемое напряжение для материала при температуре, МПа:

$$\sigma := 177$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при температуре, МПа:

$$\sigma_1 := \sigma = 177$$

Исполнительная длина внешней части штуцера, мм:

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$l_1 := 165$$

Исполнительная ширина накладного кольца, мм:

$$l_2 := 50$$

Исполнительная длина внутренней части штуцера, мм:

$$l_3 := 50$$

Исполнительная толщина накладного кольца, мм:

$$s_2 := 10$$

Расчетный диаметр для цилиндрической обечайки, мм:

$$D_p := D = 3.56 \times 10^3$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки с круглым поперечным сечением, мм:

$$d_p := d + 2 \cdot c_s$$

$$d_p = 513$$

Расчетная толщина стенки штуцера нагруженного как внутренним так и наружным давлением, мм:

$$s_{p1} := \frac{P \cdot (d + 2c_s)}{2\sigma \cdot \phi - P} = 8.845$$

Расчетные длины внешней и внутренней части круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете

$$l_{1p} := \min[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s1 - c_s)}] = 165$$

$$l_{3p} := \min[l_3, \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s1 - c_s - c)}] = 50$$

Расчетная ширина накладного кольца, мм:

$$l_{2p} := \min[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s1 - c_s)}]$$

$$l_{2p} = 50$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или сварного кольца, мм:

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s1 - c_s)} = 599.633$$

Отношение допускаемых напряжений:

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 := 1$$

Для накладного кольца:

$$\chi_2 := 1$$

Для внутренней части штуцера:

$$\chi_3 := 1$$

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

$$d_{0ц} := 2 \left( \frac{s1 - c_s}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s1 - c_s)}$$

$$d_{0ц} = 276.566$$

Проверка необходимости укрепления отверстия:

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Пров\_1 :=  $\begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } (d_{0ц}) < d \\ \text{"Укрепление отверстия НЕ требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Пров\_1 = "Необходимо укрепление отверстия"

Проверка условия укрепления одиночного отверстия:

$$A_1 := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c_s) \cdot (\chi_1) = 1.521 \times 10^4$$

$$A_2 := l_{2p} \cdot s \cdot (\chi_2) = 1.45 \times 10^3$$

$$A_3 := l_{3p} \cdot (s_1 - c_s) = 5.05 \times 10^3$$

$$A_{p.c.} := l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) = 1.799 \times 10^3$$

$$B := 0.5 \cdot [(d_p) - (d_{0ц})] \cdot s_p = 1.159 \times 10^4$$

$$A := A_1 + A_2 + A_3 + A_{p.c.} = 2.35 \times 10^4$$

Пров\_1 :=  $\begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняется"} & \text{if } A \geq B \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Пров\_1 = "Условие укрепления отверстия выполняется"

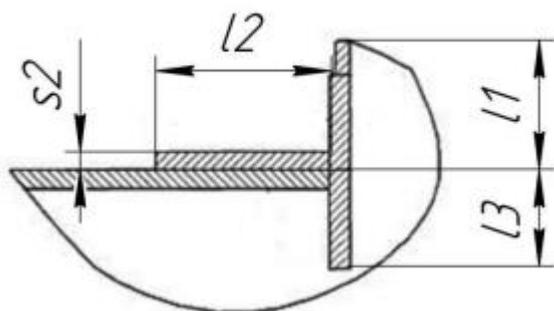


Рисунок 2.14 Схема накладного кольца

В результате расчета укрепления отверстий было выявлено, что расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда составляет 256 мм.

Для отверстий большого диаметра необходимо использование накладного кольца с параметрами:  $l_2=50$  мм,  $s_2=10$  мм. Схема накладного кольца на рис. 2.14.

### 3.3.2 Подбор стандартной опоры аппарата

Для установки аппарата выбираем опорную обечайку, конического исполнения. Это вызвано тем что часто необходимо обслуживание аппарата и под его телом. Поэтому необходимо достаточное пространство.

Конструктивные размеры элементов опоры устанавливаются в зависимости от нагрузки на одну опору Q, кН. Рассчитаем вес аппарата. для того, чтобы узнать нагрузку на одну опору.

#### Масса обечайки:

Длина обечайки, м:

$$L_{об} := 11.5$$

Наружный диаметр обечайки, м:

$$D_H := 3.675$$

Внутренний диаметр обечайки, м:

$$D_{вн} := 3.56$$

Плотность стали, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{ст} := 7850$$

Масса обечайки, кг:

$$m_{об} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - D_{вн}^2) \cdot L_{об} \cdot \rho_{ст} = 5.899 \times 10^4$$

#### Масса полусферического днища.

Согласно [11, табл. 16.1] для полусферических днищ с d = 3600 мм: масса 1780 кг, диаметр заготовки перед штамповкой - 3879 мм.

Масса днища и крышки:

$$m_d := 1780$$

$$m_k := 1780$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

### Масса штуцеров и фланцев корпуса.

Таблица 3.3 – Расчет массы штуцеров [42, табл. 24]

Назначение штуцера	Диаметр патрубк а, мм	Длина патрубк а, мм	Количество, шт	$P_y$ , МПа	Масса патрубк а, кг	Масса фланца, кг	Сумма, Кг
Ввод термопары	108x10	120	4	10	12	14	104
Ввод пара	159x12	120	1	10	27	32	59
Выгрузка катализатора	159x12	120	2	10	27	32	118
Ввод сырья	377x20	180	1	10	128	170	298
Вывод продукта	377x20	180	1	10	128	170	298
Люк	530x29	260	1	10	190	192	382
Итого:	1259						

$$M_{\text{сум}} := 1259$$

#### Масса воды при гидроиспытаниях внутри рубашки

Объем реактора, м<sup>3</sup>:

$$V_p := 70$$

Плотность воды, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_v = 1 \times 10^3$$

Масса воды внутри реактора, кг:

$$m_v := V_p \cdot \rho_v = 7 \times 10^4$$

Масса самого аппарата, кг:

$$M_{\text{ап}} := m_{\text{об}} + m_{\text{д}} + m_{\text{к}} + M_{\text{сум}} = 6.381 \times 10^4$$

Общая масса аппарата с водой, кг:

$$M := M_{\text{ап}} \cdot 1.2 + m_v = 1.466 \times 10^5$$

Нагрузка на опору максимальная, Н:

$$G_{\text{ап}} := g \cdot M = 1.436 \times 10^6$$

Нагрузка на опору минимальная, Н:

$$G_{\text{ап. min}} := M_{\text{ап}} \cdot g = 6.253 \times 10^5$$

Согласно [18, табл.1] подбираем опорную обечайку ТИП 4. С параметрами, указанными в таблице 3.4.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Таблица 3.4 - Параметры опорной обечайки

$Q_{max}=1.4 \text{ МН}$					$Q_{min}=0.62 \text{ МН}$				Фундаментные болты	
D	D1	D2	D3	D4	s1	s2	s3	d	d резьбы	Количество
3600	4000	4420	4560	4200	30	45	45	80	64	24

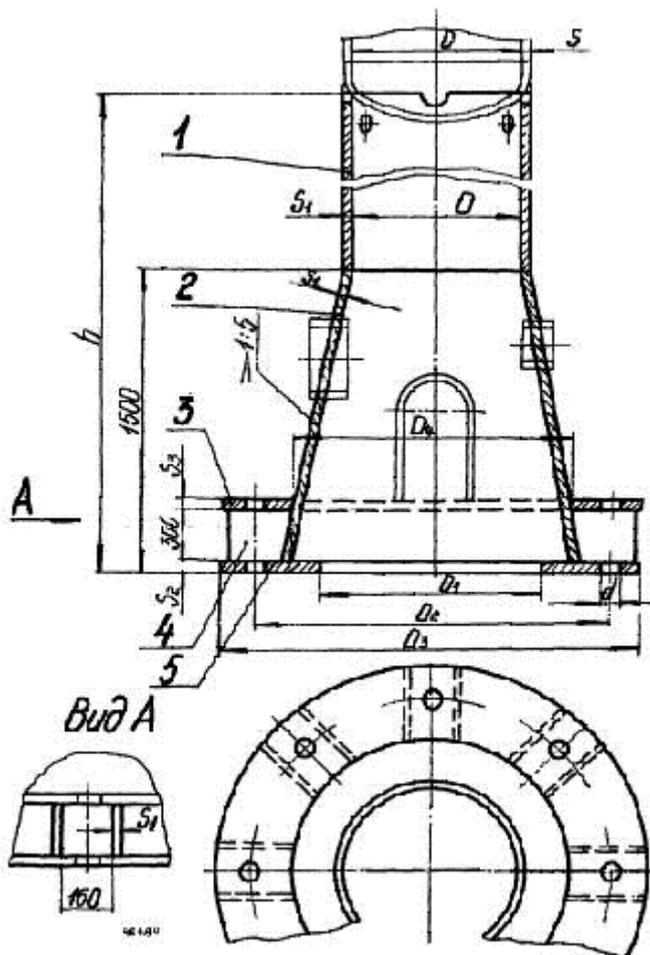


Рисунок 2.15 Опорная обечайка

**Расчет на прочность.**

Максимальные вес, МН:

$$Q_{max} := 1.436$$

Минимальный вес, МН:

$$Q_{раб} := 0.625$$

Изгибающий момент:

$$M := 0$$

$$M_1 := 0$$

Внутренний диаметр опорного фундаментного кольца, м:

$$D_1 := 4000$$

Наружный диаметр опорного фундаментного кольца, м:

$$D_2 := 4420$$

Материал сталь 16ГС, допускаемое напряжение при нормальных условиях, МПа:

$$\sigma := 196$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

Толщина опоры, мм:

$$s := 80$$

Наружный диаметр аппарата, м:

$$D_H = 3.675$$

Коэффициент прочности сварных швов:

$$\phi := 0.8$$

Опорная площадь фундаментного кольца, м<sup>2</sup>

$$F := \frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_1^2) = 2.777 \times 10^6$$

Момент сопротивления изгибу опорной площади фундаментного кольца, м<sup>3</sup>:

$$W := \frac{\pi}{32} \left[ \frac{(D_2^4 - D_1^4)}{D_2} \right] = 2.791 \times 10^9$$

Условие прочности:

$$Usl := \begin{cases} \text{"Условие прочности Не выполнется"} & \text{if } \frac{Q_{\max}}{F} + \frac{M}{W} > \sigma \\ \text{"Условие прочности Не выполняется"} & \text{if } \frac{Q_{\text{раб}}}{F} + \frac{M}{W} > \sigma \\ \text{"Условие прочности ВЫПОЛНЯЕТСЯ"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl = \text{"Условие прочности ВЫПОЛНЯЕТСЯ"}$$

Площадь опасного сечения сварного шва, м<sup>2</sup>:

$$f_c := \pi \cdot D_H \cdot 0.7 \cdot s = 646.54$$

Момент сопротивления сварного шва изгибу, м<sup>3</sup>:

$$W_c := 0.8 \cdot 0.7 \cdot s \cdot D_H^2 = 605.052$$

Напряжение в сварном шве при работе на срез, МПа:

$$\sigma_c := 0.8 \cdot \phi \cdot \sigma = 125.44$$

Условие прочности:

$$Usl1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности Не выполнется"} & \text{if } \frac{Q_{\max}}{f_c} + \frac{M_1}{W_c} > \sigma_c \\ \text{"Условие прочности Не выполняется"} & \text{if } \frac{Q_{\text{раб}}}{f_c} + \frac{M_1}{W_c} > \sigma_c \\ \text{"Условие прочности ВЫПОЛНЯЕТСЯ"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl1 = \text{"Условие прочности ВЫПОЛНЯЕТСЯ"} \quad \text{Таким образом, выбранная опорная обечайка удовлетворяет заданным требованиям.}$$

#### 4. Механический расчет теплообменника

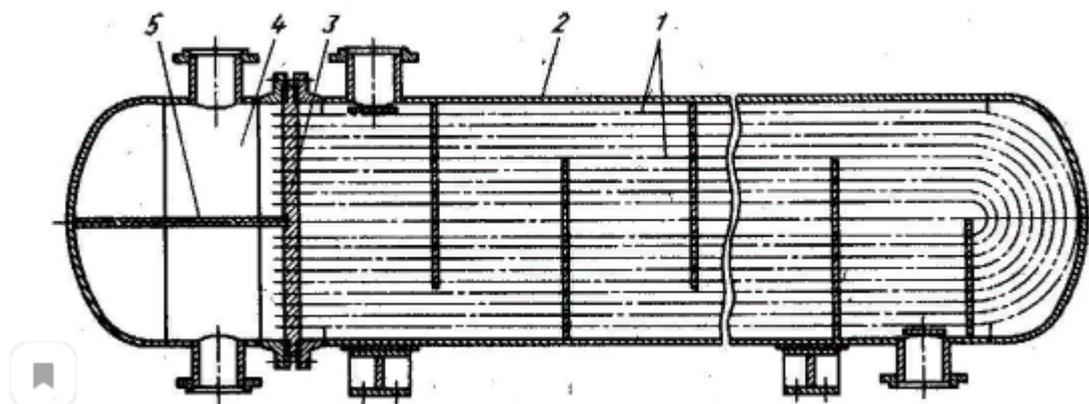


Рисунок 4. - Теплообменник типа У.

1- U-образные трубы; 2 – Кожух; 3 – трубная решетка;  
4 – Распределительная камера; 5 - перегородка

Необходимо обеспечить поверхность теплообмена  $25,0 \text{ м}^2$ , на основании этого выбираем основные параметры теплообменника [9].

Основные параметры теплообменного аппарата:

- Диаметр кожуха: 800 мм;
- Диаметр труб: 25 мм;
- Длина труб: 6,0 м;
- Число ходов: 2;
- Общее число труб: 280 шт;
- Поверхность теплообмена:  $441 \text{ м}^2$ ;

ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Кудашев С.М			Механический расчет реактора гидроочистки	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Беляев В.М.					66	14
Консульт.						4KM71		
Н. Контр.								
Утверд.		Беляев В.М.						

#### 4.1 Расчет толщины стенки кожуха

Расчет производится по формулам, приведенным в литературе [4]

$$S_p = \max \left\{ \frac{P_p \cdot D}{2\varphi \cdot [\sigma] - P_p}, \frac{P_u \cdot D}{2\varphi \cdot [\sigma]_u - P_u} \right\}, \quad (4.1)$$

где  $P_p$  – расчетное давление;  $P_u$  – пробное давление в аппарате;

$D$  – диаметр аппарата,  $\varphi$  – коэффициент прочности сварных швов;  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение для аппарата при рабочей температуре;  $[\sigma]_u$  – допускаемое напряжение для аппарата при гидравлических испытаниях;

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta \quad (4.2)$$

где  $\sigma^*$  – нормативное допускаемое напряжение при рабочей температуре,  $\eta$  – коэффициент, учитывающий вид заготовки, из которой будет изготовлен элемент сосуда или аппарата.

$\eta = 1$  (листовой прокат);

$[\sigma]_{20} = 160 \text{ МПа}$ ;

$[\sigma]_{T20} = 240 \text{ МПа}$ ;

$\sigma^* = 152 \text{ МПа}$

$[\sigma] = 152 \cdot 1 = 152 \text{ МПа}$

Рассчитаем расчетное давление

$$P_p = P + P_r, \quad (4.3)$$

где  $P$  – рабочее давление в аппарате;  $P_r$  – гидростатическое давление.

$$P_r = \rho \cdot g \cdot h; \quad (4.4)$$

$P_r = 1000 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 0,039 \text{ МПа}$

$$\frac{P_r}{P} = (0,039 / 4) \cdot 100\% = 0,97\% < 5\%$$

$P_p = P = 4 \text{ МПа}$

$$P_u = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot P \cdot [\sigma]_{20}}{0,2}, [\sigma] \right\}, \quad (4.5)$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

$$P_u = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 4 \cdot 160 / 152 = 6,3 \\ 0,2 \end{array} \right\} = 6,3 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_u = [\sigma]_{T20} / 1,1 = 240 / 1,1 = 218,2 \text{ МПа}$$

$\varphi = 1$  (автоматическая электродуговая сварка)

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot 800 / (2 \cdot 1 \cdot 152 - 4) = 10,6 \\ 6,3 \cdot 800 / (2 \cdot 1 \cdot 218 - 6,3) = 11,6 \end{array} \right\} = 11,6 \text{ мм}$$

$\tau = 15$  лет при  $\Pi = 0,07$  мм/год

$$C = \tau \cdot \Pi$$

(4.6)

$$C = 15 \cdot 0,07 = 1,05 \text{ мм}$$

$$S = S_p + C + C_0 = 11,6 + 1,05 + 0,56 = 13,27 \text{ мм}$$

В соответствии с ГОСТ Р 53677-2009 [8] толщину стенки кожуха принимаем

$$S = 16 \text{ мм.}$$

#### 4.2 Расчет толщины стенки эллиптической крышки

Расчет производится по формулам, приведенным в литературе [4]

$$S_{\text{э.п}} = \max \left\{ \begin{array}{l} P_p \cdot D / (2\varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p) \\ P_u \cdot D / (2\varphi \cdot [\sigma]_u - 0,5 \cdot P_u) \end{array} \right\}, \quad (4.7)$$

$$S_{\text{э.п}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot 800 / (2 \cdot 1 \cdot 152 - 0,5 \cdot 4) = 10,5 \\ 6,3 \cdot 800 / (2 \cdot 1 \cdot 218 - 0,5 \cdot 6,3) = 10,8 \end{array} \right\} = 10,8 \text{ мм}$$

Т.к не известно какой теплоноситель будет подаваться в трубы теплообменника то примем поправку на коррозию  $C = 1,05$  мм

Исполнительную толщину рассчитываем по формуле:

$$S_{\text{э}} = S_{\text{э.п}} + C + C_0 \quad (4.8)$$

$$S_{\text{э}} = 10,8 + 1,05 + 1,57 = 13,42 \text{ мм}$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

### 4.3 Расчет толщины стенки труб

Расчет производится по формулам, приведенным в литературе [4]

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} P_p \cdot D / (2\varphi \cdot [\sigma] - P_p) \\ P_u \cdot D / (2\varphi \cdot [\sigma]_u - P_u) \end{array} \right\} \quad (4.9)$$

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot 25 / (2 \cdot 1 \cdot 152 - 4) = 0,33 \\ 6,3 \cdot 25 / (2 \cdot 1 \cdot 218 - 6,3) = 0,36 \end{array} \right\} = 0,36 \text{ мм}$$

Исполнительную толщину рассчитываем по формуле:

$$S = S_p + C + C_0 = 0,36 + 1,05 + 0,93 = 2,34 \text{ мм}$$

### 4.4 Расчет крышек

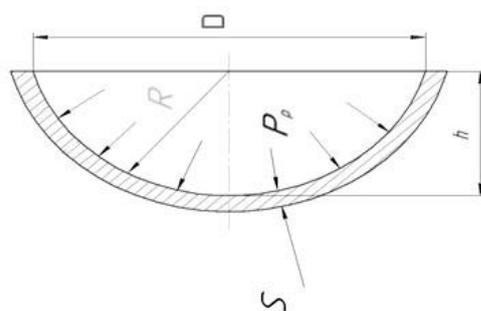


Рис 5. Схема нагружения крышки внутренним давлением

$$h = 0,25 \cdot D$$

где D – внутренний диаметр аппарата (рис 5).

$$h = 0,25 \cdot 800 = 200 \text{ мм}$$

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} P_p \cdot D / (2\varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p) \\ P_u \cdot D / (2\varphi \cdot [\sigma]_u - 0,5 \cdot P_u) \end{array} \right\} \quad (4.10)$$

$$S_{\text{э.п}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot 800 / (2 \cdot 1 \cdot 152 - 0,5 \cdot 4) = 10,5 \\ 6,3 \cdot 800 / (2 \cdot 1 \cdot 218 - 0,5 \cdot 6,3) = 10,8 \end{array} \right\} = 10,8 \text{ мм}$$

$$S_{\text{э}} = S_{\text{э.п}} + C + C_0 \quad (4.8)$$

$$S_{\text{э}} = 10,8 + 1,05 + 1,57 = 14 \text{ мм}$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

## 4.5 Выбор толщины трубных решеток

Трубные решетки представляют собой перегородки, отделяющие трубное пространство от межтрубного. Толщину трубной решетки примем равной 2,5 мм согласно рекомендациям [8]. Для диаметра кожуха 800 мм трубные решетки изготавливают штамповкой.

## 4.6 Расчет фланцевого соединения

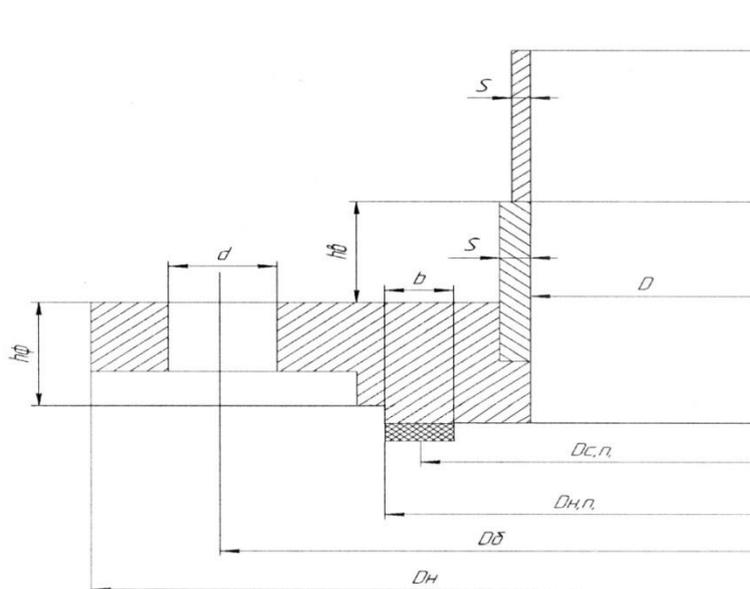


Рис 7. Плоский приварной фланец

По исходным данным выбираем плоский приварной фланец с уплотнительной поверхностью выступ-впадина.

Расчетная температура элементов фланцевого соединения

$$t_{\phi} = 0,96t = 76,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_6 = 0,95t = 76 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допускаемое напряжение:

$$\text{для материала болтов Сталь 35 } [\sigma]_{20,6} = 130 \text{ МПа} \quad [\sigma]_{,6} = 127 \text{ МПа}$$

$$\text{для материала фланца 12X18H10T } [\sigma]_{20} = 160 \text{ МПа} \quad [\sigma] = 154 \text{ МПа}$$

Толщина втулки фланца

$$\text{примем } S_0 = 5 \text{ мм}$$

$$\text{Из условия } S_0 \geq S$$

Высота втулки фланца

$$h_B \geq 0,5 \cdot \sqrt{D \cdot (S_0 - C)}; \tag{4.24}$$

$$h_B \geq 0,5 \cdot \sqrt{800 \cdot (5 - 1,05)} = 28,1 \approx 30 \text{ мм}$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Диаметр болтов

$$D_{\phi} \geq D + 2 \cdot (2 \cdot S_0 + d_{\phi} + u), \quad (4.25)$$

где  $u = 6$  мм – нормативный зазор между гайкой и втулкой

$d_{\phi} = 20$  мм – наружный диаметр болта;

$$D_{\phi} \geq 800 + 2 \cdot (2 \cdot 5 + 20 + 5) = 880 \approx 900 \text{ мм}$$

Наружный диаметр фланцев

$$D_H \geq D_{\phi} + a \quad (4.26)$$

где  $a = 40$  мм – конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца;

$$D_H \geq 900 + 40 = 940 \text{ мм}$$

Наружный диаметр прокладки

$$D_{H.П} = D_{\phi} - e \quad (4.27)$$

где  $e = 30$  – нормативный параметр, зависящий от типа прокладки;

$$D_{H.П} = 900 - 30 = 870 \text{ мм}$$

Средний диаметр прокладки

$$D_{С.П} = D_{H.П} - b \quad (4.28)$$

Ширину прокладки  $b$  выбираем равной 14 мм

$$D_{С.П} = 870 - 14 = 856 \text{ мм}$$

Количество болтов, необходимое для обеспечения герметичности:

$$n_{\phi} \geq \pi \cdot D_{\phi} / t_{ш} \quad (4.29)$$

где  $t_{ш}$  – шаг расположения болтов, мм

$$t_{ш} = (3,0 \div 3,8) d_{\phi} \quad (4.30)$$

$$t_{ш} = 3,0 \cdot 25 = 75$$

$$n_{\phi} \geq 3,14 \cdot 900 / 75 = 37 \approx 40$$

Высота фланца

$$h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \sqrt{D \cdot S_{\text{эк}}} \quad (4.31)$$

где  $\lambda_{\phi} = 0,49$  – безразмерный коэффициент;

$S_{\text{эк}}$  – эквивалентная толщина втулки;

$$S_{\text{эк}} = S_0 \cdot \left[ 1 + \frac{h_{\phi} \cdot (\beta_1 - 1)}{h_{\phi} + 0,25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D + S_0}} \right]; \quad (4.32)$$

$\beta_1 = 1$  т.к.  $S_1 = S_0$  следовательно  $S_{\text{эк}} = S_0 = 5$  мм

$$h_{\phi} \geq 0,49 \sqrt{800 \cdot 5} = 30 \text{ мм}$$

Болтовая нагрузка необходимая для обеспечения герметичности

а) Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$F_{\sigma 1} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{\text{жс}} \cdot (F_{\text{д}} \pm F) + R_n + 4M / D_{\text{с.п}} \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{с.п}} \cdot b_0 \cdot p_{\text{нр}} \\ 0,4 \cdot [\sigma]_{\sigma 20} \cdot n_{\sigma} \cdot f_{\sigma} \text{ если } Pp < 0,6 \text{ МПа} \end{array} \right\}; \quad (4.33)$$

здесь F и M равны нулю.

Равнодействующая внутреннего давления  $F_{\text{д}}$  и реакция прокладки  $R_{\text{п}}$

$$F_{\text{д}} = P_p \cdot \pi \cdot D_{\text{с.п}}^2 / 4 \quad (4.34)$$

$$F_{\text{д}} = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,856^2 / 4 = 2,29 \text{ МН}$$

$$R_n = \pi \cdot D_{\text{с.п}} \cdot b_0 \cdot k_{\text{нр}} \cdot P_p \quad (4.35)$$

$$R_{\text{п}} = 3,14 \cdot 0,856 \cdot 0,014 \cdot 2,5 \cdot 4 = 0,37 \text{ МН}$$

$b_0 = b = 14$  мм при  $b < 15$  мм – эффективная ширина прокладки;

$p_{\text{нр}} = 20$  МПа – минимальное давление обжатия прокладки;

$k_{\text{нр}} = 2,5$  – коэффициент, зависящий от материала и конструкции прокладки

Линейная податливость болтов:

$$y_{\sigma} = l_{\sigma} / (E_{\sigma} \cdot f_{\sigma} \cdot n_{\sigma}); \quad (4.36)$$

$f_{\sigma} = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – расчетная площадь поперечного сечения болта;

$E_{\sigma} = 2 \cdot 10^5$  МПа – модуль упругости материала болтов;

Расчетная длина болта

$$l_{\sigma} = l_{\sigma.o.} + 0,28 \cdot d; \quad (4.37)$$

Расстояние между опорными поверхностями головки болта и гайки:

$$l_{\sigma.o.} \approx 2 \cdot [h_{\phi} + h_n]; \quad (4.38)$$

$$l_{\sigma.o.} \approx 2 \cdot [30 + 2] = 64 \text{ мм} = 0,064 \text{ м};$$

$$l_{\sigma} = 0,064 + 0,28 \cdot 0,023 = 0,07 \text{ м};$$

$$y_{\sigma} = 0,07 / (1,99 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 40) = 3,74 \cdot 10^{-5};$$

Линейная податливость прокладки:

$$y_n = k_n \cdot h_n / (E_n \cdot \pi \cdot D_{\text{с.п}} \cdot b) \quad (4.39)$$

где  $h_n = 2$  мм – высота прокладки;

$E_n = 2000$  МПа – модуль упругости прокладки;

$k_n = 1$  – коэффициент обжатия прокладки;

$$y_{\text{п}} = 1 \cdot 0,002 / (2000 \cdot 3,14 \cdot 0,856 \cdot 0,014) = 2,65 \cdot 10^{-5}$$

угловая податливость фланца:

$$y_{\phi} = [1 - \nu \cdot (1 + 0,9\lambda_{\phi}')] \cdot \psi_2 / (h_{\phi}^3 \cdot E) \quad (4.40)$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где  $\nu, \lambda'_\phi, \psi_1, \psi_2$  - безразмерные параметры:

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9 \lambda'_\phi \cdot (1 + \psi_1 \cdot h_\phi^2 / S_{\text{ЭК}}^2)}; \quad (4.41)$$

$$\lambda'_\phi = h_\phi / \sqrt{D \cdot S_{\text{ЭК}}}; \quad (4.42)$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{D_n}{D}\right); \quad (4.43)$$

$$\psi_2 = (D_n + D) / (D_n - D); \quad (4.44)$$

$$\lambda'_\phi = 0,030 / \sqrt{0,800 \cdot 0,005} = 0,47;$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{0,812}{0,800}\right) = 0,11;$$

$$\psi_2 = (812 + 800) / (812 - 800) = 878;$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,47 \cdot (1 + 0,168 \cdot 0,03^2 / 0,005^2)} = 0,59;$$

$$y_\phi = [1 - 0,59 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,47)] \cdot 878 / (0,03^3 \cdot 2 \cdot 10^5) = 328$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения при стыковке фланцев одинаковой конструкции:

$$k_{\text{жс}} = \frac{y_\phi + 0,5 \cdot y_\phi \cdot (D_\phi - D - S_{\text{ЭК}}) \cdot (D_\phi - D_{\text{С.П}})}{y_n + y_\phi + 0,5 \cdot y_\phi \cdot (D_\phi - D_{\text{С.П}})^2} \quad (4.45)$$

$$k_{\text{ж}} = \frac{3,74 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 328 \cdot (0,9 - 0,8 - 0,020) \cdot (0,9 - 0,856)}{2,65 \cdot 10^{-5} + 3,74 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 328 \cdot (0,9 - 0,856)^2} = 1,12$$

$$F_{\phi 1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,82 \cdot 2,29 + 0,37 / 0,856 = 0,33 \text{ МПа} \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,856 \cdot 0,014 \cdot 20 = 0,376 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 0,376 \text{ МПа}$$

б) Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$F_{\sigma 2} = F_{\sigma 1} + (1 - k_{\text{жс}})(F_{\text{Д}} \pm F) + F_t; \quad (4.46)$$

где  $F_t$  - усилие, возникающее от температурных деформаций;

$$F_t = \frac{y_\phi \cdot n_\phi \cdot f_\phi \cdot E_\phi (\alpha_\phi \cdot t_\phi - \alpha_\sigma \cdot t_\sigma)}{y_n + y_\phi + 0,5 \cdot y_\phi \cdot (D_\phi - D_{\text{С.П}})^2} \quad (4.47)$$

$\alpha_\phi = 17,0 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$  – коэффициент линейного расширения материала фланца;

$\alpha_\sigma = 11,2 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$  – коэффициент линейного расширения материала болтов;

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$F_1 = \frac{3,74 \cdot 10^{-5} \cdot 40 \cdot 2,35 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^5 (17,0 \cdot 10^6 \cdot 76,8 - 11,2 \cdot 10^6 \cdot 76)}{2,65 \cdot 10^{-5} + 3,74 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 328 \cdot (0,9 - 0,856)^2} = 0,022 \text{ МПа}$$

$$F_{\sigma 2} = 0,376 + (1 - 1,82) \cdot 2,29 + 0,022 = 0,17 \text{ МПа};$$

Условия прочности болтов:

$$F_{\sigma 1} / (n_{\sigma} \cdot f_{\sigma}) \leq [\sigma]_{\sigma 20} \quad (4.49)$$

$$F_{\sigma 2} / (n_{\sigma} \cdot f_{\sigma}) \leq [\sigma]_{\sigma} \quad (4.50)$$

$$0,376 / (40 \cdot 2,35 \cdot 10^4) = 40 \leq 130 \quad \text{и} \quad 0,17 / (40 \cdot 2,35 \cdot 10^4) = 30,1 \leq 127$$

условия прочности выполняются

Условие прочности неметаллических прокладок:

$$F_{\sigma \max} / (\pi \cdot D_{с.п} \cdot b) \leq [P_{np}] \quad (4.51)$$

$$F_{\sigma \max} = \max\{F_{\sigma 1}; F_{\sigma 2}\} = \max\{0,376; 0,17\} = 0,376 \text{ МПа}$$

$$0,376 / (3,14 \cdot 0,856 \cdot 0,014) = 9,99 \text{ МПа} \leq 130 \text{ МПа}$$

условия прочности выполняются

Условие прочности втулки фланца для сечения, ограниченного размером  $S_0$

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t \leq \varphi \cdot [\sigma]_0 \quad (4.52)$$

$$\sigma_0 = f_{\phi} \cdot \sigma_1 \quad (4.53)$$

$$\sigma_1 = T_{\phi} \cdot M_0 \cdot \nu / (D^* \cdot (S_0 - C)^2) \quad (4.54)$$

$$\text{где } T_{\phi} = (D_n^2 \cdot [1 + 8,55 \cdot \lg(D_n / D)] - D^2) / ((1,05 \cdot D^2 + 1,945 \cdot D_n^2) \cdot (D_n / D - 1)) \quad (4.55)$$

$f_{\phi} = 1$  и  $T_{\phi}$  - безразмерные параметры;

$M_0$  - приведенный изгибающий момент;

$D^* = D$  при  $D > 20 \cdot S_1$

$\sigma_t$  - тангенциальное напряжение во втулке фланца;

$\sigma_m$  - меридиональное напряжение во втулке фланца;

$\varphi = 1$  - коэффициент прочности сварных швов;

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$T_{\phi} = (0,440^2 \cdot [1 + 8,55 \cdot \lg(0,44/0,325)] - 0,325^2) / ((1,05 \cdot 0,325^2 + 1,945 \cdot 0,44^2) \cdot (0,44/0,325 - 1)) = 1,77$$

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (D_{\phi} - D_{C.П}) \cdot F_{\phi 1} \\ 0,5 \cdot [(D_{\phi} - D_{C.П}) \cdot F_{\phi 1} + (D_{C.П} - D - S_{\text{эк}}) \cdot F_D] \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma] \end{array} \right\} \quad (4.56)$$

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (0,4 - 0,356) \cdot 0,29 = 0,0063 \text{ МН} \cdot \text{м} \\ 0,5 \cdot [(0,4 - 0,356) \cdot 0,29 + (0,356 - 0,325 - 0,005) \cdot 0,0328] \cdot 160/154 = 0,0070 \text{ МН} \cdot \text{м} \end{array} \right\} =$$

$$= 0,0070 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$\sigma_1 = 1,77 \cdot 0,0052 \cdot 0,378 / (0,325 \cdot (0,005 - 0,0105)^2) = 353,88 \text{ МПа}$$

$$\sigma_0 = 1 \cdot 353,88 = 353,88 \text{ МПа}$$

$$\sigma_t = P_p \cdot D / [2 \cdot (S_0 - C)] = 0,33 \cdot 0,325 / [2 \cdot (0,005 - 0,00105)] = 13,57 \text{ МПа}$$

$$\sigma_m = P_p \cdot D / [4 \cdot (S_0 - C)] = 0,33 \cdot 0,325 / [4 \cdot (0,005 - 0,00105)] = 6,78 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для фланца в сечении  $S_0$ , принимаемое при количестве нагружений соединения (сборка-разборка) не более  $2 \cdot 10^3$  из условия  $[\sigma]_0 = 0.003E$

$$[\sigma]_0 = 0,003 \cdot E = 0,003 \cdot 1,93 \cdot 10^5 = 579 \text{ МПа}$$

$$\sqrt{(353,88 + 6,78)^2 + 13,57^2} - (353,88 + 6,78) \cdot 13,57 = 354 \leq 579$$

условие прочности втулки фланца выполняется.

15. Условие герметичности фланцевого соединения:

$$\theta = (\sigma_{\kappa} / E) \cdot (D / h_{\phi}) < [\theta], \quad (4.57)$$

где  $[\theta]$  - допускаемый угол поворота фланца, принимаемый для плоских приварных  $[\theta] = 0,13$  рад;

$\sigma_{\kappa}$  - максимальное напряжение в кольце фланца:

$$\sigma_{\kappa} = M_0 [1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda'_{\phi})] \cdot \psi_2 / (D \cdot h_{\phi}^2) \quad (4.58)$$

$$\sigma_{\kappa} = 0,0070 \cdot [1 - 0,378 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,496)] \cdot 6,3 / (0,325 \cdot 0,02^2) = 153,76$$

$$\theta = (153,76 / 1,9 \cdot 10^5) \cdot (0,325 / 0,02) = 0,013 \text{ рад} < 0,13 \text{ рад}$$

Условие герметичности выполняется.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

#### 4.7 Расчет укрепления отверстий

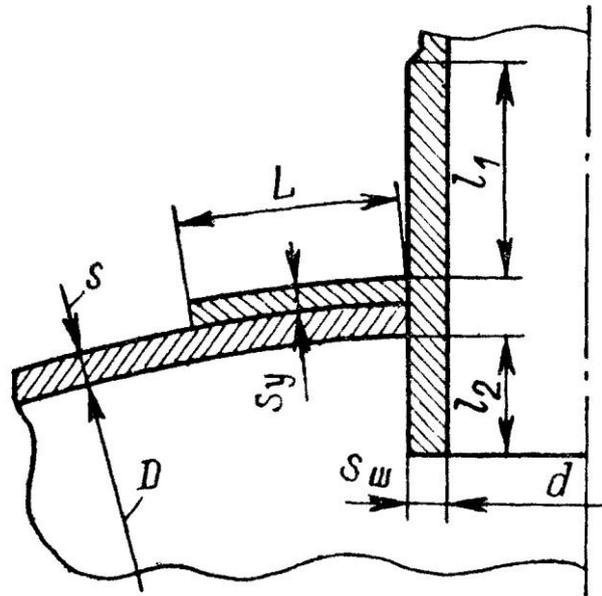


Рис 8. Схема конструкции укрепления отверстия.

В теплообменном аппарате имеется четыре штуцера: два штуцера для ввода/вывода ГСС, два для ввода/вывода греющего агента (рис 4), т.к штуцера для ввода и вывода теплоносителей одинаковы то достаточно рассчитать только два штуцера. Схема конструкции укрепления отверстия показана на рисунке 8.

1) Штуцер для ГСС:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0.785w\rho}} \quad (6.59)$$

примем  $G=1$  кг/с,  $w = 1$  м/с при  $\rho = 850$  кг/м<sup>3</sup>

$$d = \sqrt{\frac{1}{0.785 \cdot 0,6 \cdot 650}} = 0,057 \approx 60 \text{ мм}$$

$$d_0 = 2 \cdot \left( \left[ \frac{S-C}{S_p} - 0,8 \right] \cdot \sqrt{Dp \cdot (S-C)} - C_{ui} \right) \quad (6.60)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left( \left[ \frac{14 - 1.05}{11,6} - 0,8 \right] \cdot \sqrt{800 \cdot (14 - 1.05)} - 1.05 \right) = 64 \text{ мм}$$

укрепление не требуется

2) Штуцер для ввода греющего агента:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0.785w\rho}} \quad (6.61)$$

примем  $G=1$  кг/с,  $w = 20$  м/с  $\rho = 0,597$  кг/м<sup>3</sup>

$$d = \sqrt{\frac{1}{0.785 \cdot 1,23 \cdot 830}} = 0,035 \approx 40$$

Укрепление не требуется

#### 4.8 Расчет опор

Для горизонтального теплообменного аппарата (Рис 10) будем использовать стальные сварные седловые опоры (Рис 9).

При расчете горизонтального аппарата, установленного на седловых опорах, его рассматривают как балку (Рис 11), лежащую на опорах и нагруженную равномерной распределенной нагрузкой. Расчет ведут по РТМ 26-110–77, ГОСТ 26202–84. При расчете определяются изгибающие моменты в середине аппарата и под опорой.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

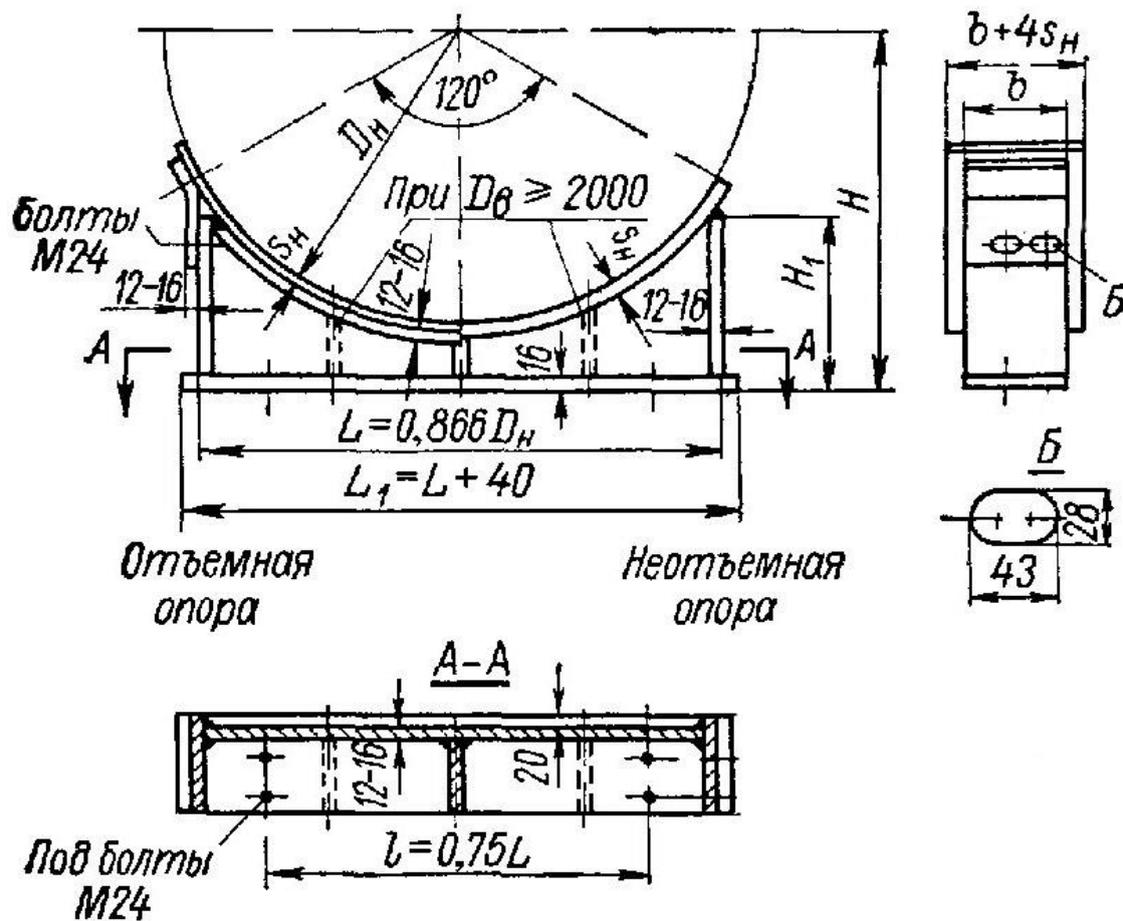


Рис 9. Конструкция седловой опоры

Масса труб:

$$m_{\text{тр}} = m_{\text{тр1}} \cdot n \quad (6.62)$$

$$m_{\text{тр1}} = \left( \frac{3.14 \cdot 0.024^2}{4} - \frac{3.14 \cdot 0.02^2}{4} \right) \cdot 4 \cdot 7900 = 4,37 \text{ кг}$$

$n$  – число труб,

$$m_{\text{тр}} = 4,37 \cdot 228 = 996,36 \text{ кг}$$

Масса обечайки:

$$m_{\text{об}} = \left( \frac{3.14 \cdot 0.814^2}{4} - \frac{3.14 \cdot 0.8^2}{4} \right) \cdot 4 \cdot 7900 = 556 \text{ кг}$$

Масса трубных решеток:

$$m_{\text{тр.р}} = \left( \frac{3.14 \cdot 0.44^2}{4} \cdot 0,01 - \frac{3.14 \cdot 0.024^2}{4} \cdot 0,01 \cdot 100 \right) \cdot 7900 \cdot 2 = 9,58 \text{ кг}$$

Масса крышек:

$$m_{\text{кр}} = F_{\text{д}} \cdot s \cdot \rho = 0,13 \cdot 0,014 \cdot 7900 \cdot 2 = 28 \text{ кг} \quad (6.63)$$

Масса аппарата:

$$m_{\text{ап}} = m_{\text{кр}} + m_{\text{тр}} + m_{\text{об}} + m_{\text{тр.р}} \quad (6.64)$$

$$m_{\text{ап}} = 28 + 996 + 556 + 9,58 = 550,4 \text{ кг}$$

Масса воды при проведении гидравлических испытаниях:

$$m_{\text{воды}} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \cdot 4 \cdot 1000 = 2009 \text{ кг}$$

Сила тяжести:

$$G_{\text{max}} = (m_{\text{воды}} + m_{\text{ап}}) \cdot g \quad (6.65)$$

$$G_{\text{max}} = (2009 + 1589) \cdot 9,81 = 21,2 \text{ кН}$$

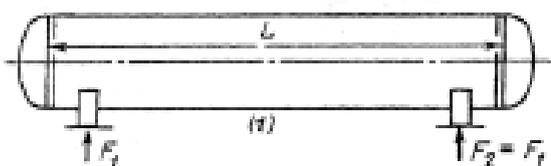


Рис. 10. Аппарат, опирающийся симметрично на две седловые опоры

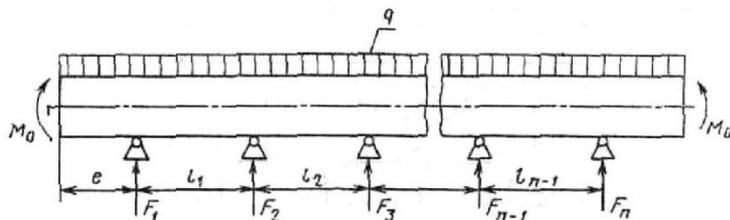


Рис. 11. Основная расчетная схема

Нагрузка балки (Рис 11) определяются по формулам:

$$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3}H} \quad (6.66)$$

$$q = \frac{21200}{0,69 + \frac{4}{3} \cdot 0,622} = 14039 \text{ Н/м}$$

$$M_0 = q \frac{D^2}{16} \quad (6.67)$$

$$M_0 = 14039 \cdot \frac{0,8^2}{16} = 561,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Опорное усилие

$$F_i = \psi_i \cdot \frac{G}{n} \quad n - \text{количество опор для } n = 2, \psi = 1 \quad (6.68)$$

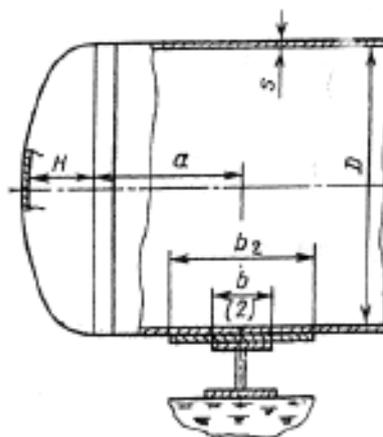


Рис. 12 Цилиндрическая обечайка, не подкрепленная элементами жесткости

$$F_1 = F_2 = 1 \cdot \frac{21200}{2} = 10600 \text{ Н}$$

Изгибающие моменты  $M_1$  следует определять в сечениях обечайки над опорами, а моменты  $M_{12}$  – в сечениях между опорами, где они имеют максимальное значение.

$$M_1 = M_2 = \frac{qe^2}{2} - M_0; \quad (6.69) \quad e = a + \frac{2}{3}H; \quad (6.70) \quad a = 0,2D \quad (6.71)$$

$$a = 0,2 \cdot 0,8 = 0,16;$$

$$e = 0,16 + \frac{2}{3}0,622 = 0,57$$

$$M_1 = M_2 = \frac{14039 \cdot 0,57^2}{2} - 561 = 1719 \text{ Нм}$$

Максимальный момент между опорами

$$M_{12} = M_0 + F_1 \cdot \left( \frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left( \frac{L}{2} + \frac{4}{3} \cdot H \right)^2 \quad (6.72)$$

$$M_{12} = 561,6 + 10600 \cdot \left( \frac{0,69}{2} - 0,16 \right) - \frac{14039}{2} \cdot \left( \frac{0,69}{2} + \frac{4}{3} \cdot 0,622 \right)^2 = 3758,44 \text{ Нм}$$

Поперечные усилия  $Q_1$  следует определять в сечении обечайки над опорами.

Величина поперечных усилий определяется по зависимости

$$Q_1 = \frac{L-2a}{L+\frac{4}{3}H} F_1 \quad (6.73)$$

$$Q_1 = \frac{4,05 - 2 \cdot 0,065}{4,05 + \frac{4}{3}0,081} \cdot 4325,5 = 4077,9 \text{ Н}$$

Условие прочности

$$\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 (s-c)} \leq \varphi \cdot [\sigma] \quad (6.74)$$

где  $M_{12}$  – максимальный момент между опорами;  $K_9$  – коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью, определяется по рис. 9. в ГОСТ 26202–84

$$\frac{p \cdot D}{4 \cdot (s-c)} + \frac{4 \cdot M_{12} \cdot K_9}{\pi \cdot D^2 (s-c)} \leq \varphi \cdot [\sigma] \quad (6.75)$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

$$\frac{4 \cdot 0,8}{4 \cdot (0,014 - 0,00105)} + \frac{4 \cdot 3758 \cdot 0,95}{3,14 \cdot 0,8^2 (0,014 - 0,00105)} = 23,2 \text{ МПа} \leq 131 \text{ МПа}$$

Нагрузка не превышает 25 МПа, поэтому рекомендуется фундамент делать из бетона класса В20.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4КМ71	Кубашев Сымбат Муратович

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОХИ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.08.02 Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Тема ВКР:

<b>Разработка основного технологического оборудования установки гидроочистки дизельного топлива</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объект исследования – реактор гидроочистки дизельного топлива Рабочая зона – Секция С-300 Область применения – Нефтеперерабатывающая промышленность.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<i>- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ -ГОСТ 12.0.004-2015; -Федеральный закон № 426-ФЗ от 28.12.2013 г. - Федеральный закон № 421-ФЗ от 28.12.2013 г. -Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г.</i>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<i>- Химически опасные и вредные вещества - Повышенный уровень шума - Отклонение показателей микроклимата - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Взрывоопасность - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</i>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<i>-вредные вещества, выбрасываемые источниками загрязнения; - отходы в виде шламов, скапливающихся в резервуарах, (окисленные углеводороды (смолы, асфальтены, парафины), различные химические реагенты, использованные в процессе добычи, сбора и подготовки нефти -разработаны решения по обеспечению экологической безопасности.</i>

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

ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ

Лист

82

<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<i>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения-пожар, взрыв</i>
--	--

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова С.В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ71	Кубашев Сымбат Муратович		

## 5 Социальная ответственность

Проектируемым объектом является установка гидроочистки дизельного топлива. Процесс проводят при высоких температурах (до 450°C) и давлениях (до 6 МПа). Объект разработки в данной дипломной работе является реактор гидроочистки дизельного топлива и теплообменник.

Производственная безопасность — это неотъемлемая организация обстановки, исключая возникновения заболеваний, связанных с трудовой деятельностью и возникновение травм на рабочем месте, которая является одной из основных задач при организации труда так как охрана здоровья, обеспечение безопасной трудовой деятельности, минимизация возникновения заболеваний и травм, полученных в процессе работы составляет одну из главных забот человеческого общества.

Процесс гидроочистки дизельного топлива является пожаро и взрывоопасным. Продуктами, определяющими взрывоопасность секции, являются водород-содержащий и углеводородный газы, пары бензина, которые в смеси с кислородом воздуха образуют смеси, взрывающиеся при наличии огня или искры. Гидроочистка дизтоплива проводится при температуре до 450°C и давлении до 50 кг/см<sup>2</sup>.

Все применяющиеся продукты являются горючими веществами.

Наличие аппаратов, работающих при высоких давлениях, температурах и содержащих большое количество продуктов в газо и парообразном состоянии создает опасность загазованности территории.

Процесс относится к вредным для здоровья обслуживающего персонала производствам, так как связан с получением продуктов, в составе которых имеется сероводород, в качестве реагента используется раствор моноэталонамина — оба вещества являются веществами 2 класса опасности.

ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Кудашев С.М			<b>Социальная ответственность</b>	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Беляев В.М.					84	14
Консульт.						<b>4KM71</b>		
Н. Контр.								
Утверд.		Беляев В.М.						

Наиболее опасные места:

- а) помещение газовой компрессорной;
- б) блок реакторный;
- в) блок печей;
- г) открытая насосная;
- д) блок стабилизации дизельного топлива;
- е) блок стабилизации бензина;
- ж) места отбора газообразных проб для лабораторных анализов;
- з) колодцы промканализации , где возможны скопления углеводородных газов.

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

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

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

					<i>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		85

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

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

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

Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения и социального развития (Росздравнадзор) осуществляет контроль за порядком организации осуществления медико-социальной экспертизы; порядком установления степени утраты профессиональной трудоспособности в результате несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний и др.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) — государственный санитарно-эпидемиологический надзор за соблюдением санитарного законодательства; организует деятельность системы санитарно-эпидемиологической службы РФ.

В федеральном законе “О пожарной безопасности” (1994) определяются общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в России, дается регулирование отношений между органами государственной власти, органами местного самоуправления, предприятиями, организациями, крестьянскими хозяйствами и иными юридическими лицами независимо от форм собственности. Федеральный закон “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” (1997) определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

производственных объектах и обеспечение готовности организаций к локализации последствий аварии.

## 5.2 Производственная безопасность

Технологическая установка подготовки нефти является взрывопожароопасным объектом. Применяемые на установке реагенты обладают токсичностью и являются опасными для здоровья человека. Вредное влияние, оказываемое нефтепродуктами на организм человека при систематическом соприкосновении с ними или вдыхание их паров, может привести к профзаболеваниям и отравлениям. Анализ причин пожаров, взрывов и несчастных случаях на нефтеперерабатывающих предприятиях показывает, что в подавляющем большинстве они возникли из-за несоблюдения графика планово-предупредительного ремонта, из-за отклонения технологического режима, а зачастую из-за незнания или грубого нарушения техники безопасности. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды (включающей в себя технологические площадки и рабочие зоны) представлены в таблице 5.1.

					<i>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		87

Таблица 5.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изготов- ление	Эксплуа- тация	
1. Химически опасные и вредные вещества	+	+	+	- ГОСТ Р 51858-2002. «Нефть» [40] - ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [41] - ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности» [42]. - СП 51.13330.2011. Защита от шума. [43] - СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [44]. - ГОСТ 30494-2011. «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [45]. - СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [46]. - СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [47]. - ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. [48] - ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования Актуализированная редакция - СНиП 23-03-2003 [49]. - ГОСТ 12.1.011-78 «СМЕСИ ВЗРЫВООПАСНЫЕ Классификация и методы испытаний» [50].; - ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [51]. - ГОСТ 12.1.002-84. ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. [52]
2. Повышенный уровень шума		+	+	
3. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны.		+	+	
5. Взрывоопасность.	+	+	+	
6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;	+	+	+	
		+	+	

Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

## 1. Химически опасные и вредные вещества

В соответствии с ГОСТ 31378 – 2009 нефть и нефтепродукты представляет собой темную, горючую жидкость со специфическим запахом. Цвет и запах нефти обуславливается присутствием азотсодержащими, серосодержащими и кислородсодержащими компонентами.

Нефть и нефтепродукты содержат легкоиспаряющиеся вещества, опасные для здоровья и жизни человека.

Нефть относится, по степени воздействия на организм человека, относится к 3-му классу опасности в соответствии ГОСТ 12.1.007 - 76.

Нефть и нефтепродукты при перекачке и отборе проб относится к 3-му классу опасности, ПДК аэрозоля нефти в воздухе рабочей зоны не более 10 мг/м<sup>3</sup>.

При хранении и лабораторных испытаниях, нефть относится к 4-му классу опасности с ПДК по алифатическим предельным углеводородам C<sub>1</sub> – C<sub>10</sub> не более 300мг/м<sup>3</sup>.

Нефть и нефтепродукты содержат легкоиспаряющиеся вещества, опасные для здоровья и жизни человека, а также азотсодержащие, серосодержащие и кислородсодержащими компоненты.

Контакт с нефтью вызывает сухость кожи, пигментацию или стойкую эритему, приводит к образованию угрей, бородавок на открытых частях тела.

Острые отравления парами нефти вызывают повышение возбудимости центральной нервной системы, снижение кровяного давления и обоняния.

### Предлагаемые средства защиты

При работе с нефтью и нефтепродуктами применяют средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.011-89, ГОСТ 12.4.103-83, ГОСТ 12.4.111-82, ГОСТ 12.4.112-82.

Для индивидуальной защиты в местах с концентрацией паров нефти, превышающей ПДК, применяют противогазы марки БКФ, шланговые противогазы марки ПШ-1 или аналогичные в соответствии с ГОСТ 12.4.034-2017.

					<i>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		89

Для защиты кожи рук применяют защитные рукавицы, мази и пасты по ГОСТ 12.4.068-79.

Для защиты глаз использовать очки типа ЭП2-80.

Для коллективной защиты от воздействия паров нефти помещения, в которых проводят работы, должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, отвечающей требованиям ГОСТ 12.4.021-75. В местах возможного выделения химических веществ в воздух рабочей зоны должны быть оборудованы местные вытяжные устройства.

## 2. Повышенный уровень шума.

Основным источником шума является насосная внутренней перекачки (НВП), насосная магистральной перекачки (НМП). Нормирующими характеристиками постоянного шума на рабочих местах являются уровни звуковых давлений в октановых полосах 78 дБА со среднегеометрическими частотами 500 Гц. А нормирующий уровень 80 дБА. Следовательно, уровень шума соответствует ГОСТ 12.1.003 – 83.

Основные организационные мероприятия по борьбе с шумом следующие:

размещения оборудования, являющегося источником шума, в отдельных помещениях;

расположение цехов с повышенным уровнем шума в отделении от малошумных помещений;

применение индивидуальных средств защиты от шума и вибрации, проведение санитарно-профилактических мероприятий для рабочих, занятых на вибро-акустически активном оборудовании.

## 3. Отклонение показателей микроклимата.

Микроклимат производственных помещений – климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей. Рабочая зона ограничивается высотой 2,2 м над уровнем пола, где находится рабочее место. При

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

этом нормируются: температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, данные представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2. - Микроклиматические условия рабочей зоны с учетом избытков тепла, времени года и тяжести выполняемой работы согласно СанПин 2.2.4.548-96

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С°		Относительная влажность, %		Скорость воздуха, м/сек	
		Фактическое значение	Допустимое значение	Фактическое значение	Допустимое значение	Фактическое значение	Допустимое значение
1	2	3	4	5	6	7	8
Холодный	Iб	23	19-24	40	15-75	0,1	0,1-0,2
Теплый		26	20-28	45	15-75	0,2	0,1-0,3

#### 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны.

При освещении производственных помещений используется естественное – за счёт солнечного излучения, искусственное – за счёт источников искусственного света, и совмещённое освещение.

Освещённость нормируется СНиП 23 – 05 – 95.

На производстве для освещения помещения операторной принимаются четыре светильника с диффузно – рассеивающим отражением, по две лампы в каждом, оснащенные лампами ЛБ-65 с величиной световой отдачи 70,0 лм / Вт. В помещении операторной необходимо предусмотреть аварийное освещение (5% основного, но не менее 2 лк), а также в нефтяной лаборатории в помещении для анализа нефтепродуктов. Аварийное, эвакуационное освещение (на полу помещений не менее 2 лк, на открытых территориях не менее 0,2 лк) необходимо в насосных, компрессорных станциях, открытых площадках э. Вдоль границы территории цеха устроено охранное освещение.

## 5. Взрывоопасность.

ГОСТ 12.1.011-78 Система стандартов безопасности труда. Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний. Данный стандарт распространяется на взрывоопасные смеси горючих газов и паров с воздухом, образующиеся в процессе производства во взрывоопасных средах, способные взрываться от постороннего источника поджигания, в которых применяется взрывозащищенное электрооборудование.

Основным источником возникновения взрыва является разгерметизация оборудования и утечка газа. Взрыв смеси может произойти только при определенных соотношениях горючих газов с воздухом или кислородом, характеризующихся нижним и верхним пределами взрываемости. Нижним пределом взрываемости называется то минимальное содержание газа или пара в воздухе, которое при воспламенении может привести к взрыву. Верхним пределом взрываемости называется то максимальное содержание газа или пара в воздухе, при котором в случае воспламенения еще может произойти взрыв. Опасная зона взрываемости лежит между нижним и верхним пределами.

Для предотвращения возможности возникновения взрыва необходимо:

- уменьшить или исключить наличие веществ, способных образовывать взрывоопасные смеси;
- установить детекторы газа или потока, совмещенные с системой аварийной сигнализации;
- контролировать герметичность установок, трубопроводов и другой технологической аппаратуры
- соблюдать правила работы со взрывоопасными веществами.
- В ходе производственной практики было выявлено что блок гидроочистки может привести к химическому удушению, а также есть опасность взрыва горючих веществ, с целью обезопасить этот фактор, на оборудование устанавливается предохранительный клапан который производит сброс давления на выкидную линию

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

б. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Источниками электрической опасности являются:

оголенные части проводов или отсутствие изоляции;

отсутствие заземления;

замыкания;

статическое напряжение.

От токоведущих частей электроустановок человека защищают изолирующие защитные средства. Они подразделяются на основные и дополнительные. Основными изолирующими средствами защиты разрешается прикасаться к токоведущим частям электроустановок, имеющих рабочее напряжение до 1000 Вольт. В первую очередь, к таким защитным средствам относится слесарно-монтажный инструмент, снабженный изолирующими рукоятками – плоскогубцы, ножи, отвертки и т.п.

Электробезопасность работающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей;

Изоляция токопроводимых частей;

Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;

Использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;

Применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;

Использование средств защиты и приспособлений.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						93
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 5.3 Экологическая безопасность проекта

### 5.3.1 Твердые и жидкие отходы, сточные воды, выбросы в атмосферу.

На установке в процессе производства накапливаются твердые отходы – отработанные катализаторы гидроочистки и пирофорные отложения (продукты коррозии аппаратуры). Их характеристика и мероприятия по утилизации приведены в таблице 5.3.

Кроме того, на установке образуются отходы потребления – пластмассовая и бумажная посуда и упаковка, ветошь и прочее. Они также должны организованно собираться и квалифицированно утилизироваться.

Таблица 5.3 – Твердые отходы производства

Наименование отхода	Место складирования, транспортирование	Периодичность образования	Условие (метод) и место захоронения, обезвреживания, утилизации	Количество, т/год
Отработанный катализатор гидроочистки «Syn-cat 3»	Хранится на территории установки в железных контейнерах до формирования транспортной партии	1 раз в 2 года	Отправляется на извлечение металлов Mo, Co, Ni на завод-изготовитель	22,5
Шлам пирофорных отложений – продукты коррозии и твердых отложений при чистке аппаратов	Транспортируется автосамосвалами с герметичным кузовом	1 раз в 2 года	Шламонакопители	0,6

На НПЗ три отдельные системы канализации:

- I система – для отведения и очистки промливневых сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств;
- II система – для отведения и очистки эмульсионных и химически загрязненных сточных вод;
- III система – для отведения хозяйственно-бытовых сточных вод от административно-хозяйственных и бытовых объектов НПЗ.

Очищенная сточная вода I системы канализации используется для подпитки оборотных систем водоснабжения. После физико-химической очистки на собственных очистных сооружениях, сточные воды II системы канализации направ-

ляются для доочистки на биологические очистные сооружения с последующим сбросом в водоем.

Постоянно в процессе эксплуатации установки в атмосферу выбрасываются из дымовых труб печей продукты сжигания газообразного и жидкого топлива. Кроме того, существуют неорганизованные выбросы в атмосферу – пары растворителей и нефтепродуктов, газообразный сероводород (попадают в атмосферу в результате утечек через неплотности арматуры, трубопроводов, соединений, аппаратов). Количество загрязняющих веществ и их нормированная концентрация в выбросах приведены в таблице 5.4.

### **5.3.2 Мероприятия по охране окружающей среды.**

С целью уменьшения неорганизованных выбросов вредных веществ, связанных с неплотностями аппаратуры, арматуры, фланцевых соединений, уплотнений, дренажей и т.п. на установке необходимо предусмотреть следующее:

- во фланцевых соединениях, работающих при высоких температурах и давлениях, применяются прокладки из алюминия, меди и других металлов;
- при перекачке ЛВЖ, ГЖ, сжиженных газов применяются насосы с двойным торцевым уплотнением. Контроль утечки уплотнительной жидкости в двойных торцевых уплотнениях осуществляется по изменению показаний расходомера, изменению уровня в емкости уплотнительной жидкости;
- постоянный автоматический контроль загазованности в местах максимально возможных выделений углеводородов;
- максимально возможное использование аппаратов воздушного охлаждения;
- для защиты аппаратов и трубопроводов от разрыва устанавливаются предохранительные клапаны, сбросы вредных веществ от которых осуществляются в закрытую факельную систему.

					<i>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		95

Таблица 5.4 – Характеристика выбросов в атмосферу

Наименование загрязняющих веществ	Количество выбросов, т/год	Установленная норма содержания загрязнений в выбросах, мг/м <sup>3</sup>	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup> (класс опасности)	Условия (метод) обезвреживания
<b>1. Неорганизованные выбросы:</b>				
Сероводород	0,0013	–	10 (2)	Рассеивание в атмосфере
Бензол	14,65	–	15 (2)	
Толуол	9,77	–	50 (3)	
Бензин	244,26	–	100 (4)	
<b>2. Выбросы из дымовой трубы печей:</b>				
Метан	13,292	109,800	7000 (4)	Рассеивание в атмосфере
Оксид углерода	81,632	677,000	20 (2)	
Сернистый ангидрид	85,789	444,750	10 (3)	
Оксид азота	83,889	695,100	5 (3)	
Двуокись азота	4,169	34,400	2 (3)	
Бенз- $\alpha$ -пирен	0,000027	0,000	0,00015 (1)	
Мазутная зола	0,450	1,139	4 (3)	
Всего:	537,902	–	–	–

### 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям природного характера относятся: лесные и торфяные пожары; сильные морозы (ниже -40 0С); метели и снежные заносы; ураганные ветры.

Чрезвычайные ситуации техногенного характера – это пожары; взрывы паровоздушных смесей; разливы сильнодействующих ядовитых веществ; отключение электроэнергии; отключение тепла и воды.

На УПН производится контроль загазованной среды, что может предупредить ЧС техногенного характера.

Основные нарушения технологического режима которые могут привести к авариям и несчастным случаям, а также способы его устранения указаны в таблице 5.5

Таблица 5.5 - Основные нарушения и способы устранения нарушения

№ п/п	Основные нарушения технологического режима, могущие привести к авариям и несчастным случаям	Способы устранения нарушения
1	2	3
1.	Попадание жидкости на прием компрессора ЦК-301 может привести к неисправности компрессора.	Следить за уровнем в сепараторе С-303, при повышении уровня сдrenировать конденсат в сепаратор С-304 или в крайнем случае остановить компрессор.
2.	Увеличение остаточной серы в очищенном дизельном топливе выше 0,05% масс.	Увеличить расход свежего водородсодержащего газа и отдув газа. Восстановить нормальную температуру на входе в реактор Р-301.
3.	Повышение уровня воды в сепараторе С-301А приведет к попаданию воды в колонну К-301 и к повышению давления в последней.	Следить за уровнем воды в С-301А. В случае повышения уровня сдrenировать вручную
4.	Резкие колебания температур в печах П-301/1,2 могут привести к нарушению плотности фланцевых соединений и к загоранию.	Следить за температурой печей выдерживая их в пределах технологической карты. Следить за давлением топливного газа и за подачей жидкого топлива к печам.
5.	Уменьшение количества свежего и циркулирующего водородсодержащего газа может привести к закоксованию катализатора и резкому подъему температуры.	Контролировать производительность компрессоров, следить за качеством циркулирующего водородсодержащего газа.
6.	Понижение уровня в абсорберах К-302, К-303 может привести к повышению давления в сепараторе С-304 и подрыву предохранительного клапана, приведя к загазованности территории.	Следить за уровнем в К-302, К-303, не допуская понижения его. Следить за работой насосов Н-306, Н-307, Н-308, Н-309 и в случае необходимости повысить их нагрузку.
7.	Понижение уровня в колонне К-301 может привести к проскоку паров в резервуары товарного парка.	Следить за уровнем, не допуская его понижения.
8.	Понижение температуры низа отпарной колонны К-304 может привести к попаданию H <sub>2</sub> S и бензина в канализацию.	Следить за температурой низа К-304, не допуская ее понижения. Устранить источник попадания бензина в водяной конденсат (проверить уровень раздела фаз в С-302, С-301).
9.	Повышение уровня воды в сепараторе бензина С-302 может привести к повышению давления в колонне К-301 за счет подачи бензина с водой на орошение колонны.	Следить за уровнем в С-302, не допуская его увеличения. При повышении уровня сдrenировать вручную.
10.	Повышение температуры и давления во всех аппаратах, выше указанных в технологической карте, сможет вызвать нарушение целостности аппаратов и трубопроводов.	Следить за температурой и давлением. В случае повышения давления сбрасывать вручную на факел или топливную сеть.
11.	Пропуск нефтепродуктов через торцевые уплотнения насосов.	Остановить насос, перейти на резервный, заменить торцевое уплотнение.

## Вывод

В разделе социальная ответственность рассмотрена безопасность и экологичность нахождения сотрудников в цехе подготовки и перекачки нефти, поставлены вопросы соблюдения прав персонала на труд, выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению. Рассмотрены меры исключаяющие несчастные случаи в производстве, и снижение вредных воздействий на окружающую среду. Данные по разделу могут быть введены в производство, но с использованием дополнительных данных и расчетов.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		98

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4KM71	Кубашев Сымбат Муратович

<b>Институт</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОХИ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.08.02 Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Работа с информацией, представленной компанией ОАО «ПНХЗ»	

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1 Расчет производственной мощности
2. Разработка устава научно-технического проекта	2 Режим работы персонала
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	3 Расчет амортизационных отчислений
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	4 Расчет себестоимости
	5 Расчет технико-экономических показателей

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

- Калькуляция себестоимости товарной нефти
- График определения точки безубыточности

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына З.В.	к.т.н., доц		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4KM71	Кубашев Сымбат Муратович		

## 6 Экономический раздел

Проектная мощность установки гидроочистки 2,1 млн.т/год по сырью. Эта установка производит гидроочищенное дизельное топливо и бензиновую фракцию (нафту), направляемую обратно на установку ЭЛОУ-АВТ-7.

Товарный баланс установки гидроочистки приведен в таблице 6.1.

Таблица 6.1- Товарный баланс установк

Наименование потоков	%(масс.)	т/год	т/сутки	кг/ч
Взято:				
Дизельное топливо (неочищенное)	100	2100000	6562,5	273437,5
ВСГ,	0,755	15855	49,55	2064,6
в том числе 100% водород	0,219	4599	14,37	598,8
Итого	100,75	2115855	6612,05	275502,1
Получено:				
Дизельное топливо (очищенное)	99,13%	2081730	6505,40	271058,6
Сероводород	0,468	9828	30,71	1279,6
Сухой газ	0,72	15120	47,25	1968,8
Бензин	0,44	9240	28,88	1203,3
Итого	100,75	2115918	6612,2	275510

### 6.1 Расчет капитальных затрат

Расчет капитальных вложений состоит из расчета объема капитальных затрат на здания и сооружения, который приведен в таблице 6.2, а также из расчета капитальных затрат на оборудование, приведенного в таблице 6.3.

ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Кудашев С.М			Экономический раздел	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Беляев В.М.					100	14
Консульт.						4КМ71		
Н. Контр.								
Утверд.		Беляев В.М.						

Таблица 6.2- Расчет капитальных затрат на здания и сооружения

Наименование	Единица измерения	Количество	Сумма, руб.	Амортизационные отчисления	
				Норма, %	Сумма, руб.
здание АБК	шт.	1	8895964,1	1,2	106751,57
здание операторной	шт.	1	1716484,3	1,2	20597,81
здание насосной пентушения	шт.	1	631864,05	1,2	7582,37
насосная	шт.	1	3650941,8	10	365094,18
Сооружения:					
ограждение	шт.	1	12385282,7	3,3	408714,33
Итого:		5	27280536,9		908740,26

Таблица 6.3- Расчет капитальных затрат на оборудование

Наименование оборудования	Количество	Сметная стоимость, руб.		Амортизационные отчисления	
		Единицы	Общая	Норма, %	Сумма, руб.
Основное оборудование:					
Сырьевой фильтр ФС-1	1	1518841,8	1518841,8	9	136695,76
Уравнительная емкость Е-1	1	4146883,97	4146883,97	8	331750,7
Сепаратор С-1	1	7941035,2	7941035,2	8	635282,8
Сепаратор С-2	1	716192,4	716192,4	8	57295,4
Сепаратор С-3	1	2122398,6	2122398,6	8	169791,9
Сепаратор С-4	1	8008816,2	8008816,2	8	640705,3
Емкость Е-2	1	1051587,6	1051587,6	8	84127
Емкость Е-3	1	780206	780206	8	62416,5
Печь П-1	1	33395779,2	33395779,2	10	3339577,92
Реактор Р-1	1	56989137,8	56989137,8	9	5129022,4
Колонна К-1	1	18466861	18466861	9	1662017,5
АВО Х-1,2,3,4	4	169150,3	676601,2	9	60894,1
Теплообменник Т-1	1	151800	151800	7,1	10777,8
Теплообменник Т-2	1	2898000	2898000	7,1	205758
Теплообменник Т-3	1	1771000	1771000	7,1	125741
Теплообменник Т-4	1	1894809	1894809	7,1	134531,4
Теплообменник Т-5	1	1893714,2	1893714,2	7,1	134453,7
Насос Н-1	1	1110755,1	1110755,1	10	111075,51
Насос Н-2	1	5197144,45	5197144,45	10	519714,44
Насос Н-3	1	5257800	5257800	10	525780
Итого:		155481912,7	155989363,6		14077409,2
Неучтенное оборудование	%	10	155989363,6		1559893,63
Электросиловое оборудование	%	5	7799468,2		779946,82
Трубопроводы	%	15	23398404,5		2339840,45
КИПиА	%	25	38997340,91		3899734,09
Итого:			85794150,01		8579415,001
Всего:			241783513,6		22656824,2

Сводная смета капитальных затрат приведена в таблице 6.4.

									Лист
									101
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ				

Таблица 6.4- Сводная смета капитальных затрат

Элементы основных фондов	Стоимость, тыс. руб.	%
1. Здания и сооружения	27280,5369	10,14
2. Оборудование	241783,5136	89,86
Итого:	269064,0505	100

## 6.2 Расчет численности и фонда заработной платы персонала

### Исходные данные:

- производство непрерывное;
- длительность рабочей смены 8 часов;
- 4-х бригадный график работы;
- невыход на работу предусмотрен;
- в балансе рабочего времени отпуск 24 дня, прочие невыходы 8 дней.

Примерный баланс рабочего времени одного рабочего:

- календарный фонд рабочего времени 365 дней;
- выходных дней 91;
- отпуск 24 дня;
- праздничных дней 15;
- эффективный фонд рабочего времени 235 дней;
- эффективный фонд рабочего времени 1880 часов.

Расчет численности основных рабочих приведен в таблице 6.5.

Таблица 6.5- Расчет численности основных производственных рабочих

Наименование профессии	Разряд	Тарифная ставка, руб.	Численность рабочих, чел.		
			Сменная	Явочная	Списочная
Старший оператор	6	108	1	3	4
Оператор	5	96	1	3	4
Оператор	4	84	1	3	4
Машинист	6	108	1	3	4
Машинист насосов	5	96	1	3	4
Итого:			4	15	20

Численность явочная:

$$R_{ЯВ} = R_{СМ} \cdot c, \quad (6.1)$$

где Р<sub>яв</sub> – численность явочная;

с – число смен;

Р<sub>см</sub> – численность сменная.

Численность списочная:

$$R_{сп} = R_{яв} + R_{см}, \quad (6.2)$$

где Р<sub>сп</sub> – численность списочная;

Р<sub>яв</sub> – численность явочная;

Р<sub>см</sub> – численность сменная.

Расчет тарифного фонда заработной платы рабочих:

$$Z_{тар} = R_{сп} \cdot T_{эф} \cdot Z_{ч}, \quad (6.3)$$

где Z<sub>тар</sub> – тарифный фонд заработной платы, руб.;

Р<sub>сп</sub> – списочная численность рабочих;

T<sub>эф</sub> – эффективный фонд рабочего времени, час.;

Z<sub>ч</sub> – часовая тарифная ставка, руб/час.

$$Z_{тар6} = 8 \cdot 1880 \cdot 108 = 1624320 \text{ руб.}$$

$$Z_{тар5} = 8 \cdot 1880 \cdot 96 = 1443840 \text{ руб.}$$

$$Z_{тар4} = 8 \cdot 1880 \cdot 84 = 631680 \text{ руб.}$$

$$Z_{тар. осн} = 3699840 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в вечернее время определяется по формуле:

$$Z_{дв} = (Z_{тар} \cdot 0,2)/4, \quad (6.4)$$

где Z<sub>тар</sub> – тарифный фонд заработной платы, руб.;

$$Z_{дв} = 184992 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в ночное время определяется по формуле:

$$Z_{дн} = (Z_{тар} \cdot 0,4)/4, \quad (6.5)$$

где Z<sub>тар</sub> – тарифный фонд заработной платы, руб.;

$$Z_{дн} = 369984 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$Z_{год} = 4254816 \text{ руб.}$$

Расчет численности и фонда заработной платы труда ИТР и МОП приведен в таблице 6.б.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		103

Таблица 6.6 - Численность и оплата труда ИТР и МОП

Наименование должности	Количество	Оклад, руб	Премия, %	Оплата за месяц, руб.	Годовой фонд оплаты труда, руб
Начальник цеха	1	10180	300	40720	488640
Начальник установки	1	8731	300	34924	419088
Начальник смены	4	7914	300	31656	1519488
Мастер энергетик	1	6337	300	25348	304176
Инженер программист	1	5031	300	20124	241488
Уборщик производственных помещений	1	1587	300	6348	76176
Инженер механик	1	7097	300	28388	340656
Итого:	10				3389712

### 6.3 Расчет среднегодовой заработной платы одного списочного рабочего и работающего, производительности труда

Среднегодовая заработная плата одного списочного рабочего:

$$Z_{\text{ср осн}} = Z_{\text{год}} / r_{\text{осн}}, \quad (6.6)$$

где  $Z_{\text{год}}$  – годовой фонд заработной платы основных рабочих;

$r_{\text{осн}}$  – численность основных рабочих.

$$Z_{\text{ср осн}} = 4254816 / (20 \cdot 12) = 17728,4 \text{ руб.}$$

Среднегодовая заработная плата одного списочного работающего:

$$Z_{\text{ср итр}} = (Z_{\text{год осн}} + Z_{\text{год итр}}) / ((r_{\text{осн}} + r_{\text{итр}}) \cdot 12), \quad (6.7)$$

где  $Z_{\text{год осн}}$  – годовой фонд заработной платы основных рабочих;

$Z_{\text{год итр}}$  – годовой фонд заработной платы работающих;

$r_{\text{осн}}$  – численность основных рабочих;

$r_{\text{итр}}$  – численность работающих.

$$Z_{\text{ср итр}} = (4254816 + 3389712) / ((20 + 10) \cdot 12) = 21234,8 \text{ руб.}$$

Производительность труда одного списочного рабочего:

$$ПТ_{\text{осн}} = Вг / r_{\text{осн}}, \quad (6.8)$$

где  $Вг$  – годовой объем, м<sup>3</sup>;

$r_{\text{осн}}$  – численность основных рабочих.

$$ПТ_{\text{осн}} = 1524810 / 20 = 76240,5 \text{ т/чел.}$$

Производительность труда одного списочного работающего:

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						104
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$ПТитр = Вг / (г_{осн} + г_{итр}), \quad (6.9)$$

где Вг- годовой объем, м<sup>3</sup>;

г<sub>осн</sub> – численность основных рабочих;

г<sub>итр</sub>- численность работающих.

$$ПТитр = 1524810 / 30 = 50827 \text{ т/чел.}$$

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105

#### 6.4 Расчет отчислений в социальный фонд

$$ЕСН(\text{осн})=0,3 \cdot 4254816 = 1276444,8 \text{ руб.}$$

$$ЕСН(\text{осн-итр})=0,3 \cdot 3389712 = 1016913,6 \text{ руб.}$$

#### 6.5 Расчет годового расхода электроэнергии

Расчет годового расхода электроэнергии на двигательные цели представлен в таблице 6.7.

Таблица 6.7- Расчет годового расхода электроэнергии

Наименование оборудования	Количество	Единичная мощность, кВт	Суммарная мощность, кВт	Потребность годовая, кВт*ч
Насос Н-1	1	671	671	5475360
Насос Н-2	1	110	110	897600
Насос Н-3	1	32	32	261120
Итого:	3			6634080

Расчет годового расхода электроэнергии на двигательные цели проводится по формуле:

$$\text{Эдв}=(\text{Этеор} \cdot \text{Кспр})/(\text{Кэл.с} \cdot \text{Кдв}), \quad (6.10)$$

где Этеор- потребность в электроэнергии;

Кспр- коэффициент спроса;

Кэл.с- коэффициент потерь в электрической цепи;

Кдв- коэффициент потерь в двигателе.

$$\text{Эдв}=(6634080 \cdot 0,8)/(0,98 \cdot 0,85)= 6371265,3 \text{ кВт*ч.}$$

#### 6.6 Расчет себестоимости продукции

Расчет переменных и постоянных затрат представлен в таблице 6.8.

Таблица 6.8- Расчет годовых переменных и постоянных затрат

Статьи расхода	Единица измерения	Годовая норма расхода	Цена за единицу, руб.	Сумма затрат, руб.
1	2	3	4	5
<b>Переменные затраты</b>				
1 Сырье и материалы: - прямогонная фракция дизельного топлива;	тонны	1549494	10000	15494940000
- водородосодержащий газ;	тонны	37521	4030	151209630
- катализатор.	тонны	113	650000	73450000
2 Вспомогательные материалы	тонны			1975602
3 Электроэнергия	кВт/ч	6371265,3	3,2	120388048
4 Зарплата основных рабочих	руб.			4254816
5 Отчисления на социальное страхование	руб.			1361541,12
Итого:				15847579637
<b>Постоянные затраты</b>				
1 Амортизация зданий и сооружений	руб.			980740
2 Амортизация оборудования	руб.			22656824,2
3 Зарплата ИТР и МОП	руб.			3389712
4 Отчисления на социальное страхование (ЕСН итр и моп)	руб.			1084708
5 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (5% от стоимости оборудования)	руб.			12089175,68
Прочие расходы (1% от суммы п.1,2,3,4,5)	руб.			402011,6
Итого:				40603171,6
Всего:				15888182808

Себестоимость одной тонны:

Себестоимость 1т.=Количество затрат/Количество продукта (6.11)

Себестоимость 1т. = 6439636978/1524810= 10419 руб/т.

Технико-экономические показатели процесса приведены в таблице 6.9.

Таблица 6.9- Техничко-экономические показатели процесса

Наименование показателя	Единицы измерения	Данные проекта
1 Годовой объем производства	тыс. т/год	1524,81
2 Капитальные затраты: - на строительство зданий и сооружений - на оборудование	руб.	269064050,5 27280536,9
3 Оборотные средства (12% от кап.затрат)	руб.	3228768,06
4 Численность производств. персонала: - рабочих - работающих	чел.	30 20 10
5 Среднегодовая заработная плата: - рабочего - работающего	руб.	17728,4 21234,8
6 Производительность труда: - одного рабочего - одного работающего	т/чел.	76240,5 50827
7 Себестоимость	руб/т.	10419

Определим цену единицы готовой продукции, рентабельность от себестоимости составляет 25%

$$Ц = C_{\text{себ}} * (1 + P/100) \quad (6.11)$$

Расчитаем полную себестоимость продукции, выпускаемую за год:

$$C_{\text{себ}} = 10419 \cdot 1524810 = 15886995390 \text{ руб.}$$

Тогда цена единицы готовой продукции составляет, что является в 3,5 раза меньше рыночной цены на дизельное топливо[41]

$$Ц = 10419 * 1,25 = 13023 \text{ руб.}$$

В таком случае выручка с полученных объемов производства составит:

$$В = 13023 \cdot 1524810 = 19857600630$$

Налог на доходы :

$$Н_{\text{д}} = 0.2 \cdot \text{ПР} \quad (6.12)$$

где:  $N_{\text{д}}$  – налог на доходы; ПР – прибыль, руб;

$$\text{ПР} = В - C_{\text{себ}} \quad (6.13)$$

где: В – выручка, руб.;

$C_{\text{себ}}$  - себестоимость;

Расчитаем прибыль исходя из выше полученных данных:

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						108
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПР=19857600630-15886995390=3970605240 руб.

Расчитаем налог на доход:

$$H_d = 0.2 \cdot 3970605240 = 794121048 \text{ руб.}$$

### 6.7 Расчет технико-экономических показателей

#### Фондоотдача

$$\Phi_O = B / C_{OCH}, \quad (6.14)$$

где: B - объем выручки от реализации, руб.;

C<sub>OCH</sub> - среднегодовая стоимость ОПФ, руб.,

$$\Phi_O = 19857600630 / 296344587,4 = 67 \text{ руб.}$$

#### Фондоемкость:

$$\Phi_E = 1 / \Phi_O \quad (6.15)$$

$$\Phi_E = 1 / 67 = 0,014 \text{ руб.}$$

#### Фондовооруженность:

$$ФВ = C_{OCH} / H_{СП}, \quad (6.16)$$

$$ФВ = 296344587,4 / 30 = 9878152,9$$

Где H<sub>СП</sub> - списочная численность работников, человек.

Определим аналитическую точку безубыточности по объему выпуска товарного дизельного топлива

$$Q_{кр} = \text{ИЗД}_{\text{пост}} / (\text{Ц} - \text{ИЗД}_{\text{перем}} / V); \quad (6.17)$$

где: ИЗД<sub>пост</sub> – издержки постоянные;

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
						109
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$C$  – цена за тонну выпускаемой продукции;

$ИЗД_{перем}$  – издержки переменные;

$V$  – объем выпускаемой продукции, тонн.

$$Q_{кр} = 40603171,6 / (13023 - 15847579637 / 1524810) = 15439;$$

На рис.9 демонстрируется точка безубыточности по объему продукции по графику видно, что положительный доход начинается с 15400 тонн выпускаемой продукции.

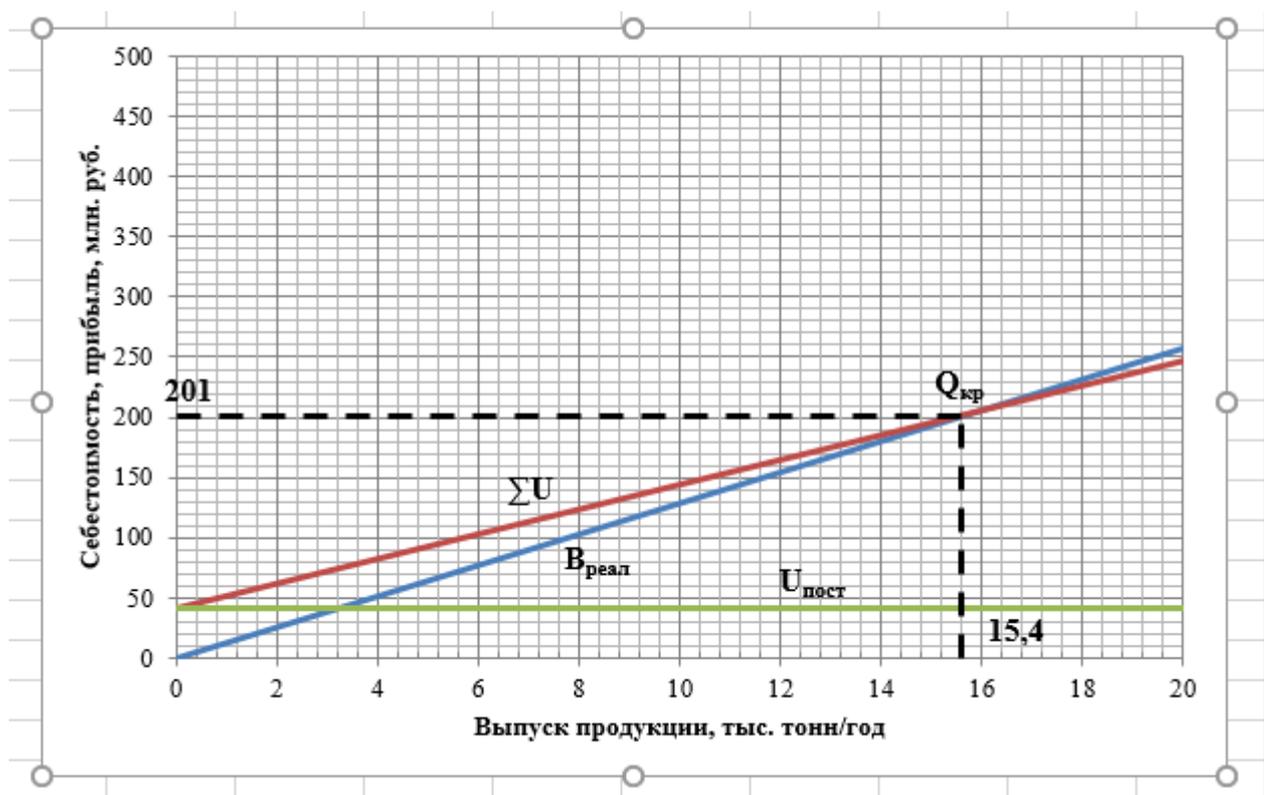


Рисунок 9 Определение точки безубыточности

Таблица 6.10 – Технико-экономические показатели.

Наименование показателя	Ед. измерения	За год
1.Объем производства	Тыс. тонн	1524
2.Объем продаж	Тыс. тонн	1524
3.Цена 1 тонны	Руб.	13023
4.Выручка от реализации	руб.	19857600630
5.Суммарные издержки	руб.	15888182808
5.1.Издержки переменные	руб.	15847579637
5.2.Издержки постоянные	руб.	40603171,6
6.Операционная прибыль	руб.	3970605240
7.Налог на прибыль	руб.	794121048
8.Чистая прибыль	руб.	3176484192
9.Себестоимость	руб.	15248100000
10.Стоимость основных средств	руб.	269064050,5
11.Численность основных рабочих установки	Чел.	30
12.Фондовооруженность	руб./чел.	14817229,37
12.Фондоотдача	руб./ руб.	67
14.Фондоемкость	руб./ руб.	0,014
15.Рентабельность производства	%	25%

## Заключение

В дипломном проекте разработана установка гидроочистки дизельного топлива производительностью по сырью 2,1 млн т./год.

В технологической части разработана схема установки, составлен материальный баланс, выполнен технологический расчет основных аппаратов: реактора, сырьевого теплообменника, насоса.

В механической части выполнены прочностные параметры элементов реактора, теплообменника и насоса, конструкция которых отвечает требованиям условий эксплуатации. Разработаны сборочные единицы реактора, теплообменника и насоса, а также рабочие чертежи деталей. В процессе расчета и конструирования аппаратуры были изучены ГОСТы, ОСТы, ТУ, РТМ и другие нормативно-технические материалы. При этом результаты расчета во многом определяются конструктивными решениями и материальным оформлением аппарата.

В дипломном проекте также разработаны меры по охране труда работников предприятия и безопасной эксплуатации производства, и защите окружающей среды.

В экономическом разделе рассчитаны основные технико-экономические показатели проекта, определена себестоимость получаемой целевой продукции и прибыль от ее реализации.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		112

### Список использованных источников

1. Козлов В.А. Нефть и нефтепродукты / В.А. Козлов. – М.: Недра, 1989. – 825 с.
2. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов / С.А. Ахметов. –Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.
3. Сибаров Д.А. Термокаталитические процессы переработки нефти / Д.А. Сибаров. – Л.: Химия, 1996. – 817 с.
4. Аспель Н.Б. Гидроочистка моторных топлив / Н.Б. Аспель, Г.Г. Демкина. – Л.: Химия, 1977. –160 с.
5. Технологические расчеты установок переработки нефти / М.А. Танатаров, М.Н. Ахметшина, Р.А. Фасхутдинов и др.–М.: Химия, 1987. –352 с.
6. Сарданашвили А.Г. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа / А.Г. Сарданашвили, А.И. Львова.–М.: Химия, 1980. –256 с.
7. Кашарский П.Д. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы / П.Д. Кашарский. –Л.: Машиностроение, 1976. –480 с.
8. Долин А.М. Основы безопасности на электроустановках / А.М. Долин.– М.: Энергия, 1979. –408 с.
9. Эрех В. Н. Химия и технология нефти и газа / В. Н. Эрех, М, Г. Расина, М. Г. Рудин. - Л.: Химия, 1977. - 395 с.
10. Суханов В.П. Переработка нефти. Учебник для профессионально - технических учебных заведений / В.П. Суханов. - М.: «Высшая школа», 1974. – 476с.
11. Огородников С.К. Справочник нефтехимика. Том 1 / С.К. Огородников. - Л.: Наука,1978. – 541с.
12. Танатаров Т.А. Основы расчетов технологических установок переработки нефти / Т.А. Танатаров. - М.: Химия, 1985. – 311с.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		113

13. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. – Учебник для вузов в трех томах. Том III / А.С. Тимонин. – М.: МГУИЭ, 2002. – 2300 с.

14. Баязитов М.И. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли / М.И. Баязитов, А.Г. Чиркова.- Уфа: УГНТУ, 1999.- 172 с.

15. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник / А.А. Лашинский.- Ленинград: Машиностроение, 1981.- 382 с.

16. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л.: Химия, 1974. – 344 с.

17. Итинская Н.И. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. Изд.2-е, переработанное и дополненное / Н.И. Ихтинская. - М.: «Колос», 1974. - 423с.

18. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

19. СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.

20. Рябов И.В. Пожарная опасность веществ и материалов, применяемых веществ в химической промышленности: Справочник / И.В. Рябов.–М.: Химия, 1970. – 336 с.

21. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин.- М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.

22. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.

23. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

24. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

25. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

26. ГОСТ 12.4.041-2001. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие технические требования.

27. Кулиев В.П. Охрана труда в нефтеперерабатывающей промышленности / В.П. Кулиев, Г.Г. Орлов, Ю.Г. Сорокин. –М.: Химия, 1983. – 471 с.

28. Горемыкин В.А. Планирование на предприятии: Учебник / В.А. Горемыкин, Э.Р. Бугулов, А.Ю. Богомолов. – М.: Инф.-изд. Дом «Филинь», 1999. – 256 с.

29. ТР ТС 013/2011 Технический регламент Таможенного союза "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту" (с изменениями на 2 декабря 2015 года)

30. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1989-ст)

31. ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1990-ст)

32. ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1991-ст)

33. ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1992-ст)

34. ГОСТ 34233.5-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1993-ст)

					<i>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</i>	Лист
						115
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

35. ГОСТ 34233.6-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1994-ст)

36. ГОСТ 34233.7-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1995-ст)

37. ГОСТ 34233.8-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками (с Поправкой) (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1996-ст)

38. Поправка к ГОСТ 34233.8-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками

39. ГОСТ 34233.9-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Аппараты колонного типа (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1997-ст)

40. ГОСТ 34233.10-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты, работающие с сероводородными средами (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1998-ст)

41. ГОСТ 34233.12-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Требования к форме представления расчетов на прочность, выполняемых на ЭВМ (с Поправкой) (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 2000-ст)

					<i>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		116

## Приложение А1

### 1.1 Theoretical foundations of the Hydro treating process

Hydro treating is a one-step process that takes place in the mildest conditions compared to hydrocracking and destructive hydrogenation. The process takes place at 350–430 ° C, 3.0–6.0 MPa, circulation of hydrogen-containing gas 100–600 m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup> of raw materials and a space velocity of 3–10 h<sup>-1</sup> using a catalyst (usually aluminum-cobalt-molybdenum or alum-nickel-molybdenum) [2].

Hydro treating (or hydrofining) can be subjected to various raw materials, obtained both during the primary distillation of oil and during thermo-catalytic processes, from gas to oil and paraffin. Hydro treating has the greatest application for the desulfurization of catalytic reforming feedstock, as well as for the production of reactive and low-sulfur diesel fuel from sulfur and high-sulfur oils. During hydro treating, partial destruction of mainly organosulphuric and partially oxygen- and nitrogen-containing compounds occurs.

The decomposition products are saturated with hydrogen to form hydrogen sulfide, water, ammonia and saturated or aromatic hydrocarbons.

The removal of heteroatoms occurs as a result of breaking the C – S, C – N and C – O bonds and saturating the resulting fragments with hydrogen. In this case, sulfur, nitrogen and oxygen are released, respectively, in the form of H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, and H<sub>2</sub>O. Alkenes add hydrogen via a double bond. Polycyclic aromatic hydrocarbons are partially hydrogenated.

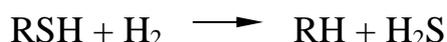
### 2 Chemical mechanism of hydrofining process.

In non-hydrocarbon compounds, the C – S and S – S bonds are less strong than the C – C and C – H bonds, the averaged binding energies of which are 201, 218, 247 and 365 kJ / mol, respectively. But since the hydro treating process is catalytic, the bond strength should be evaluated with regard to the energy of formation of intermediate cat-

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		1

alyst complexes with fragments formed after the bond breaks. This energy significantly compensates for the loss of bond energy. For example, on nickel, the C – S bond breaking energy is 20 kJ / mol, C – N - 104 kJ / mol, and C – C - 201 kJ / mol. This explains the selectivity of hydro treating processes: almost quantitative destruction of C – S bonds without significant affecting of C – C bonds, i.e. without noticeable destruction of raw materials.

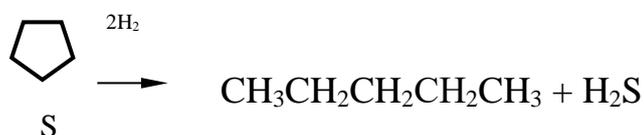
Mercaptans are converted to hydrocarbons and hydrogen sulfide:



Disulfides are hydrogenated to hydrogen sulfide and the corresponding hydrocarbons also through the stage of formation of mercaptans:



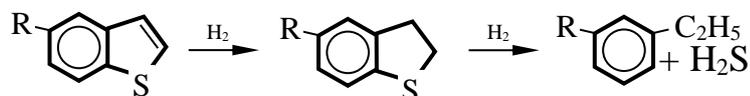
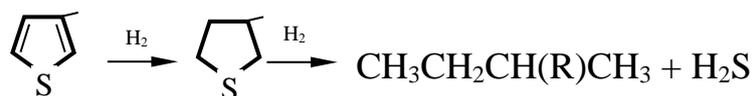
In cyclic sulfides, for example in thiophane, the ring is first broken, then hydrogen sulfide is split off and the corresponding hydrocarbon is formed:



The compounds of the thiophene series represented by benzothiophene, dibenzthiophene, alkyldibestiohenes and dialkyldibenzothiophenes are low active. Their share in the composition of sulfur-containing compounds of diesel fractions reaches 50 - 60%, which in terms of sulfur with a total content of about 1.2% (mass.) is 0.3 - 0.7% (mass.). The resistance of organo-sulfur compounds to hydrogenolysis with an increase in the number of aromatic and naphthenic rings in its molecule increases.

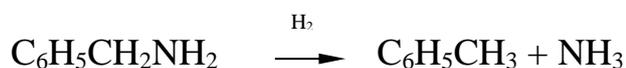
Thiophene and benzthiophene are first hydrogenated to tetrahydrothiophene derivatives, which are then converted to alkanes and alkyl derivatives of aromatic hydrocarbons:

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2



Nitrogen in petroleum products is found mainly in heterocycles, in the form of pyrrole derivatives and pyridine.

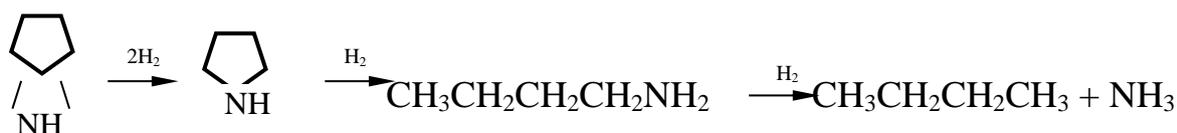
The hydrogenolysis of the C – N bond is more difficult than that of the C – S bond; therefore, it is more difficult to remove nitrogen in hydrotreatment processes than sulfur. Amines are most easily hydrated:



Aniline containing an amino group bound to an aromatic ring is much more difficult to hydrogenate:



Worst of all, nitrogen is removed from cyclic structures. Pyrrole is hydrogenated to butane and ammonia:

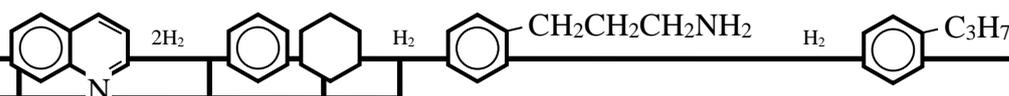


Pyridine is converted to pentane and ammonia according to the scheme:



Since the conjugated electron system in the pyridine molecule is much more stable than in the pyrrole molecule, pyridine is more difficult to hydrogenate than pyrrole.

Hydrogenation of bicyclic and polycyclic aromatic hydrocarbons begins with a ring containing a heteroatom:



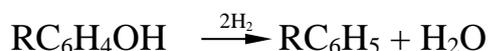
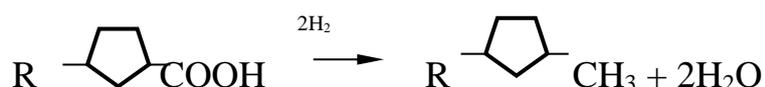
ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					3



Oxygen in middle distillates can be represented by compounds such as alcohols, ethers, phenols and naphthenic acids. In the high-boiling fractions, oxygen is mainly in cross links and in cycles of molecules. The greatest amount of oxygen-containing compounds is concentrated in resins and asphaltenes.

During hydrogenolysis of oxygen-containing compounds, the corresponding hydrocarbons and water are formed:



Resins and asphaltenes are converted to low molecular weight compounds. Hydrotreating of oxygen-containing compounds proceeds under the same conditions as the removal of sulfur impurities. In the presence of conventional hydrotreating catalysts, almost complete hydrogenation of oxygen-containing compounds is achieved.

The organometallic compounds present in the petroleum fractions decompose on the active sites of the catalyst with the release of free metal, which is a catalytic poison. Hydrotreating allows you to remove most of the organometallic compounds. Thus, vanadium is removed by 98-100%, and nickel by 93-96%.

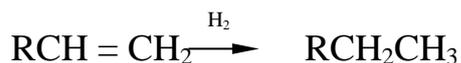
In the process of hydrotreating simultaneously with the reactions of sulfur, nitrogen and oxygen compounds occur numerous reactions of hydrocarbons:

- isomerization of paraffin and naphthenic hydrocarbons;
- saturation of unsaturated hydrocarbons;
- hydrocracking;
- hydrogenation of aromatic hydrocarbons and others.

Isomerisation of paraffinic and naphthenic hydrocarbons occurs under any conditions of desulfurization.

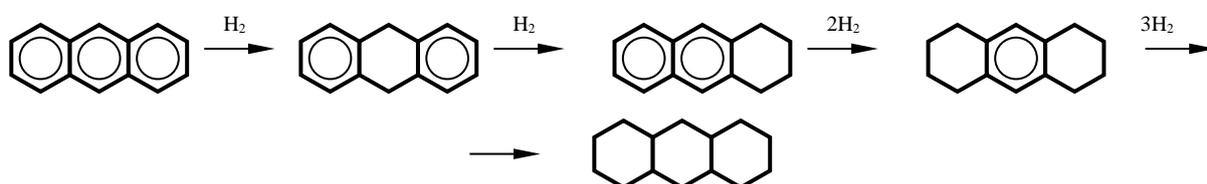
At a temperature of  $350 \div 500$  ° C, almost complete hydrogenation of unsaturated compounds occurs at a relatively low partial pressure of hydrogen

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

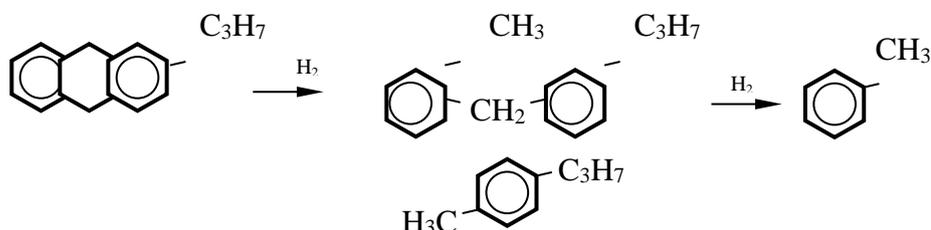


The intensity of hydrocracking increases with increasing temperature and pressure. At higher temperatures and lower pressures, partial dehydrogenation of naphthenic and dehydrocyclization of paraffinic hydrocarbons occurs. In some cases of hydrogenation desulfurization, these reactions can serve as a source of hydrogen production for the reaction of their own desulfurization, i.e. provide the process of auto-cleaning.

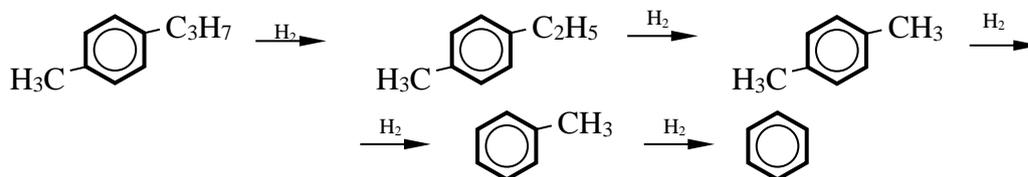
In the process of hydrogenation, the most persistent are aromatic hydrocarbons. Hydrogenation of aromatic hydrocarbons with condensed rings can occur under the conditions of the hydrotreating process:



Along with the sequential hydrogenation of aromatic rings, it is possible to split the formed saturated rings and release alkyl substituted arenes:



Alkyl benzenes on catalysts with high hydrogenating activity undergo further hydrogenolysis, mainly with sequential cleavage of methane [4]:



### 3 Thermodynamics of the process

For fast reactions on existing industrial catalysts, a temperature of 330-430 °C is sufficient. Since hydrogen addition reactions are accompanied by a change in volume, the pressure in the reaction zone has a decisive influence on the depth of the process. The most common pressure applied during hydrotreatment is 2.5 - 6 MPa.

Hydrogenation of aromatic hydrocarbons goes with the release of heat and a decrease in entropy, the equilibrium constants of hydrogenation decrease rapidly with increasing temperature.

Adding to straight-run raw materials up to 30% of fractions of secondary origin increases the heat of reaction to 125–187 kJ / kg, depending on the content of unsaturated hydrocarbons in the raw materials.

### 4 Mechanism of the Hydrotreating Process

The mechanism of hydrogenation of organosulfur compounds largely depends on their structure. The rate of hydrogenation increases in the series: thiophenes < thiophanes < sulfides < disulfides < mercaptans.

There is a very little data on the hydrogenation of nitrogen- and oxygen-organic compounds. Table 1.1 presents data on the hydrogenation of some nitrogen, oxygen and organic sulfur analogues on Ni<sub>2</sub>S<sub>3</sub> [4].

Table 1.1 - The degree of conversion of various types of heteroatomic compounds depending on temperature

Hydrocarbon	Transformation, %		
	at 200 ° C	at 350 ° C	at 430 ° C
Toofan	41	100	100
Tetrahydrofuran	0	25	55
Thiophene	0	15	39
Furan	0	0	10
Pyrrole	0	0	0

## 5 The influence of the main factors on the output and the quality of the main products

The Hydro treating process depends on the fractional and chemical composition of the raw material, on the desired degree of desulfurization, on the type of catalyst and its state.

The main parameters of hydro treating are: temperature, pressure, feed rate of the raw material, the multiplicity of circulation of hydrogen-containing gas, the catalyst activity.

### 5.1 Temperature

The optimal hydrotreating temperature depends on the raw materials, process conditions, catalyst activity and takes place at 300-450 ° C for the fraction (230-360 ° C) and 290-370 ° C for the fraction (140-230 ° C).

It is most expedient to conduct the process at a minimum temperature that does not cause the formation of coke. While increasing temperature, the degree of desulfurization of raw materials increases and lies within 430 ° C.

With increasing temperature, the degree of hydrogenation decreases. Reactions are exothermic, the amount of heat released depends on the content of sulfur and unsaturated hydrocarbons.

### 5.2 Pressure

With increasing pressure, the degree of hydrogenation increases, decreases coke formation and increases the service life of the catalyst. Hydrotreating process is carried out at a pressure of 2 - 6 MPa. With a further increase in pressure, the desulfurization rates increase slightly.

Hydrotreating process is best carried out at an increased partial pressure of hydrogen — 75-95% (vol.) Hydrogen (at least 60% vol.) Should be in the circulating gas. With an increase in the partial pressure of hydrogen, the rate of hydrogenation of sulfur compounds increases. A high degree of desulfurization is achieved at 6 MPa. The higher the pressure, the less coke is deposited on the catalyst.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

### 5.3 Volumetric feed rate of raw materials

The volumetric rate is the ratio of the volume of raw materials fed to the reactor per hour, to the volume of the catalyst.

With an increase in the flow rate, the residence time of the raw material in the reactor decreases and vice versa, with a decrease in the flow rate, the time of contact of the raw material vapor with the catalyst increases and, consequently, the degree of purification deepens. However, as the space velocity decreases, the amount of feedstock passed through the reactor decreases, i.e. reduced installation performance. Therefore, for each type of raw material is determined by the maximum allowable volumetric rate

### 5.4 Multiplicity of circulation of hydrogen-containing gas

Hydrotreating diesel fuel is carried out with an excess of hydrogen in the reaction. With an increase in the hydrogen content, the reaction rate increases, and this factor also affects the degree of desulfurization.

The relative amount of supplied hydrogen-containing gas is expressed by the volume of the circulating gas in normal m<sup>3</sup> per 1 m<sup>3</sup> of liquid feedstock. The concentration of hydrogen in the circulating gas must be at least 70% by volume. The multiplicity of circulation of hydrogen-containing gas for various conditions is taken in the range of 100-700 Nm<sup>3</sup> / m<sup>3</sup> of liquid raw materials.

### 5.5 Catalyst

The catalyst must have high requirements in the reaction, when the carbon-carbon bonds are broken or the aromatic rings are saturated during the reaction, there should be practically no leakage. High activity in saturation reactions of unsaturated compounds In the hydrotreatment of various petroleum fractions and products, various hydrogenating catalysts can be used, in particular, representing combinations of cobalt oxides and sulfides (or nickel) with oxides and molybdenum or tungsten sulfides, namely cobalt molybdates (or nickel), nickel sulfoflumate, and so on.

Alumocobaltmolybdenum (AKM) and alumonickelmolybdenum (AHM) catalysts meet these requirements.

					ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

In the catalyst, not only the content of active components, but also the ratio of metals in them plays a large role. So in the catalyst AKM most effectively the ratio of cobalt and molybdenum is 1: 5; it ensures its maximum activity in hydrodesulfurization reactions. Such a catalyst has a very high selectivity, and the reactions of hydrocracking of carbon-carbon bonds or saturation of aromatic rings in its presence practically do not occur. In addition, it is almost not sensitive to poisons, which are usually present in the processed raw materials. Moreover, it is even pre-sulphided and, according to some data, this ensures its good operation in the hydrotreatment mode.

The higher the catalyst activity, the higher the space velocity and the high degree of desulfurization of the raw material. Over time, the degree of catalyst activity decreases as a result of coke deposition on its surface.

To restore the activity of the catalyst periodically burning coke is carried out. Due to recrystallization and changes in the surface structure, as well as due to adsorption on the catalyst surface of organometallic and other substances blocking the active centers, which makes the catalyst unusable .. In this case, the catalytic activity decreases and the catalyst is changed to a new one.

### **6 Characteristics of raw materials and products of Hydrotreating**

The degree of cleaning of raw materials depends on the type, temperature, partial pressure of hydrogen and its circulation ratio, volumetric feed rate of raw materials and other factors.

Both straight-run fractions and distillates of secondary origin (light fraction of pyrolysis resin, gasolines, light gas oils of coking and catalytic cracking) are subjected to hydrotreatment.

With the weighting of raw materials, the degree of its purification in the given process conditions decreases. With an increase in the average molar mass, the proportion of sulfur contained in hydrogenation-resistant structures increases.

With the same fractional composition, the removal of sulfur from products of secondary origin (coking, catalytic cracking) is much more difficult. This is due to the fact that the cracked products contain heteroatoms in the structure of the most thermally

					<i>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						9
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

stable, difficultly hydrogenating compounds. In addition, products of secondary origin contain a large amount of aromatic and unsaturated hydrocarbons, which have a high adsorbability on the catalyst and as a result inhibitory hydrogenation of hetero-organic compounds.

The quality of the products must comply with the indicators given in Tables 1.2 - 1.5.

Table 1.2 - Indicators of quality of hydrogen sulfide

The quality of the product	
The hydrogen sulfide content,% by volume	not less 98,0
It is used as a raw material for the production of sulfuric acid.	

Table 1.3 - Fraction of diesel fuel hydrotreated

The quality of the product	
Water content and mechanical impurities	-
Fractional composition	
50% is distilled at a temperature no higher	280°C
90% is distilled at a temperature no higher	340°C
96% is distilled at a temperature no higher	360°C
Hydrogen sulfide corrosion	-
Copper plate test	hold
Flash point, point closed Cup, °C	not less than 62
Mass fraction of total sulfur, % by weight.	not more than 10
Nitrogen, wt. %	not more than 20
Iodine number, gr/100 gr.	0,5
Density, kg/m <sup>3</sup>	not more than 834

Table 1.4 - Indicators of quality warded off gasoline

Water content and mechanical impurities	-
Copper plate test	hold
Boiling point, of start °C	not less than 40
The temperature of the end boiling point, °C	not more than 180
It is used as a component of motor gasoline	

Table 1.5 - Refined hydrocarbon gas

The quality of the product:	
Hydrogen sulfide content, % volume	not more than 0,20
It is used as a furnace fuel at the plant.	

In relation to the current European standard EN 590, the standard STB 1658-2006 was developed and put into operation in the CIS territory from 1.02.2007, which establishes the technical requirements and test methods for diesel fuel used for vehicles (table 1.6) [7].

Table 1.6 - General requirements and test methods

Name of indicator	Unit measurement	Value of indicator	
		Min	max
Cetane number	-	51,0	-
Cetane index	-	46,0	-
Density at 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	820	845
Mass fraction of polycyclic aromas. Hydrocarbons'	%		11
	mg/kg		350*
Sulfur content			50*
Flash point	°C	above 55	-
Coking capacity of 10 % residue	%	-	0,30
Water content	mg/kg	-	200
Content of mechanical impurities	mg/kg	-	24
Corrosion of copper plate (3 h at 50 °C)	units on a scale	class 1	
Oxidation resistance	g/m <sup>3</sup>	-	25
Viscosity at 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	2,00	4,50
Volume fraction of fatty acid methyl esters	% (V/V)	-	5

## 7 Modern Hydrotreating Units

Modern hydrogenation processes of the Union Oil Co company: The Unicracking / DP process includes two hydrotreating and selective hydrodewaxing reactors operating in succession for the processing of raw materials - diesel fractions and vacuum gas oils to produce low-temperature diesel fuel temperature (pour point of up to minus 80 ° C) with a content of 0.002% sulfur less than 10% of aromatics on the HC-K and HC-80 catalysts with a feed conversion of 20%; Unicracking process with partial conversion of 80% of raw materials - vacuum gas oils to produce diesel fuel with a content of 0.02% sulfur, less than 10% aromatics on the HC-K preliminary hydrotreating catalyst and an improved zeolite catalyst DHC-32. In the world practice, the following processes are used to reformulate petroleum residues: Hydrotreating RCD Unionfining (Union Oil Co.) to reduce the content of sulfur, nitrogen, asphaltenes, metals and reduce the coking behavior of residual raw materials in order to obtain high-quality low-sulfur fuel or for further processing during hydrocracking , coking, catalytic cracking of residual raw materials; Hydrotreating of RDS / VRDS (Chevron) is similar to the previous process. In this case, raw materials with a viscosity at 100 ° C to 6000 mm<sup>2</sup> / s and metals up to 0.5 g / kg are processed, the “catalyst replacement on the go” technology is used, which allows you to unload the catalyst from the reactor and replace it with fresh while maintaining normal operation in parallel reactors, which allows you to process very heavy raw materials with a mileage of more than a year [8].

					<i>ФЮРА УГДТ 00.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12