

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (Процессы и аппараты химической технологии)

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Самборская М.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Математическое моделирование процесса гидроочистки дистиллятного сырья

УДК: 665.658.2:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2KM81	Пучкова Анастасия Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ	Кривцова Надежда Игоревна	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Маланина Вероника Анатольевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Атепаева Наталья Александровна	Старший преподаватель		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ	Самборская Марина Анатольевна	К.Т.Н.		

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП (18.04.02)

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1 ОК-1, ОК-2, ОК-3), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.008 - «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами», 40.033 - «Специалист по стратегическому и тактическому планированию и организации производства»
P2	Осуществлять управление проектом на всех этапах его жизненного цикла	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2 ОПК-4, ОПК-5), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.008 - «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами», 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 40.033 - «Специалист по стратегическому и тактическому планированию и организации производства»
P3	Организовывать и руководить работой команды, вырабатывать командную стратегию для достижения цели	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3 ОПК-2, ОПК-3, ПК-2, ПК-14), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.008 - «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами», 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 40.033 - «Специалист по стратегическому и тактическому планированию и организации производства»
P4	Применять современные коммуникативные технологии в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах) для академического и профессионального взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4 ОПК-1, ОПК-3, ПК-5), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.008 - «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами», 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»
P5	Проводить анализ и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-5, ОК-2, ОПК-2, ОПК-3, ПК-5), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.008 - «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами»
P6	Определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности, разрабатывать способы ее совершенствования на основе самооценки	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-6, ОК-1, ОК-3), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.008 - «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами»

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Профиль «Инжиниринг нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств»		
P7	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, ОПК -3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16, ПК-17), <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», 40.008 - «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами» 26.014 – «Специалист в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области биотехнических систем и технологий»
P8	Проводить все стадии проектирования с использованием методов математического моделирования, коммерческих симуляторов и пакетов прикладных программ, в области ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-18, ПК-19, ПК-20, ПК-21, ПК-22, ПК-23), <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», 40.008 - «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами» 26.014 – «Специалист в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области биотехнических систем и технологий», 19.002 - «Специалист по химической переработке нефти и газа», 19.008 - «Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли», 19.012 - «Специалист по оперативно-диспетчерскому управлению нефтегазовой отрасли»
P9	Разрабатывать учебно-методическую документацию, ставить новые лабораторные работы, проводить практические занятия по теме, ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, УК-5, ПК-25, ПК-26), <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»

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Самборская М.А.
(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
2KM81	Пучковой Анастасии Александровне

Тема работы:

Математическое моделирование процесса гидроочистки дистиллятного сырья	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 03.03.2020 г. №63-53/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	27.05.2020 г.
--	----------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является процесс гидроочистки дистиллятного сырья.</p> <p>Сырье – дистиллятная фракция.</p> <p>Данные, полученные с лабораторной каталитической установки гидроочистки дистиллятного сырья.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор: процесс гидроочистки, сырье и продукты процесса, химизм, кинетика, влияние технологических параметров 2. Объект и методы исследования процесса 3. Экспериментальная часть. Математическая модель процесса гидроочистки, оптимизация процесса для достижения требуемого уровня очистки дистиллятного сырья от серосодержащих соединений 4. Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность <p>Заключение</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>доцент ОСГН, к.э.н., Маланина Вероника Анатольевна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>ст. преподаватель ООД, Атепаева Наталья Александровна</p>
<p>«Раздел на иностранном языке»</p>	<p>доцент ОИЯ, к.ф.н., Болсуновская Людмила Михайловна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>1.3 Сераорганические соединения в сырье нефтепереработки</p>	
<p>1.4 Химизм процесса гидроочистки</p>	
<p>1.5 Катализаторы процесса гидроочистки</p>	
<p>1.6 Современные установки гидроочистки</p>	
<p>2.1.1 Лабораторная каталитическая установка</p>	
<p>2.1.2 Проведение процесса гидроочистки</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>20.01.2020 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Кривцова Н.И.	к.т.н., доцент		20.01.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2KM81	Пучкова А.А.		20.01.2020 г.

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (Процессы и аппараты химической технологии)

Уровень образования Магистр

Отделение школы НОЦ) Отделение химической инженерии

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	27 мая 2020г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1.03.2020	Проведение литературного обзора по теме исследования	10
8.03.2020	Утверждение объектов и методов исследования.	20
07.04.2020	Выполнение расчетов и моделирования	40
6.05.2020	Анализ полученных экспериментальных данных, формулирование выводов	20
17.05.2020	Подготовка разделов «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность»	10

Составил руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Кривцова Н.И.	К.Т.Н.		

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2KM81	Пучкова А. А.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Самборская М.А.	К.Т.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2КМ81	Пучковой Анастасии Александровне

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистр	Направление / специальность	18.04.02 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	1. Стоимость программного обеспечения: 33 698 руб.; 2. Размер оклада руководителя проекта: 33 664 руб.; 3. Размер оклада дипломника: 13 300 руб.;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Число календарных дней в году: 365 дней; 2. Продолжительность выполнения ВКР: 2 года; 3. Дополнительная заработная плата: 15 % от основной;
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные нужды во внебюджетные фонды: 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности проведения поисковых ГРП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Построение оценочной карты для сравнения конкурентных разработок
2. Планирование и формирование бюджета поисковых ГРП	2. Расчет материальных затрат на программное обеспечение, заработную плату, дополнительные расходные материалы
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности поисковых ГРП	3. Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ81	Пучкова Анастасия Александровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2КМ81	Пучковой Анастасии Александровне

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление / специальность	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Тема ВКР:

Математическое моделирование процесса гидроочистки дистиллятного сырья	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<ul style="list-style-type: none"> - объект исследования: установка гидроочистки дистиллятного сырья; - методика исследования: математическое моделирование; - рабочая зона: компьютерный класс; - область применения: нефтеперерабатывающие заводы, научные институты, проектные организации;
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы; - СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003; - СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*; - СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей потенциалов, под действие которого попадает работающий; - наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона; - опасные и вредные производственные факторы, связанные

	<p>с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания;</p> <p>- нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса;</p> <p>- опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой;</p> <p>- опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.</p>
3. Экологическая безопасность:	Отрицательное воздействие на окружающую среду оказывает влияние компьютера и его комплектующих, которые неправильно утилизируются.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Причиной чрезвычайной ситуации может стать перегрев компьютерной техники и как следствие ее возгорание.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Атепаева Наталья Александровна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2KM81	Пучкова Анастасия Александровна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 102 с., 26 рис., 27 табл., 66 источников, 2 прил.

Ключевые слова: гидроочистка, математическое моделирование, константа скорости, дистиллятное сырье, каталитическая установка, серосодержащие соединения, катализатор, водород.

Объектом исследования является процесс гидроочистки дистиллятного сырья.

Цель работы – повышение эффективности процесса гидроочистки дистиллятного сырья с применением математической модели, для достижения требуемого уровня очистки топлива от серосодержащих соединений.

В процессе исследования для достижения данной цели были поставлены и выполнены следующие задачи: проведение процесса гидроочистки на лабораторной каталитической установке, с последующим анализом полученных данных; создание формализованной схемы превращений и написание кинетической математической модели процесса; установление кинетических закономерностей протекания реакций гидрообессеривания проверка модели на адекватность, согласно, проведенного эксперимента.

В результате исследования были проведены численные расчеты на математической модели, позволяющие установить закономерности изменения концентраций каждого из компонентов, представленных в формализованной схеме превращений процесса гидроочистки дистиллятного сырья. Данная модель позволяет определить характер влияния основных технологических параметров процесса, таких как температура, объемная скорость подачи сырья, соотношение ВСГ/сырье. Модель может быть использована для оптимизации процесса гидроочистки дистиллятного сырья.

Область применения: нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность.

В будущем планируется получение свидетельства об официальной регистрации программы, а также ее внедрение на нефтеперерабатывающие заводы.

Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

ГО – гидроочистка;

САВ – смолисто-асфальтеновые вещества;

ВИНК – вертикально-интегрированная компания;

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод;

ВСТ – водородсодержащий газ;

АУВ – ароматические углеводороды;

Т – тиюфены;

ДБТ – дибензотиофены;

БТ – бензотиофены;

ОСПС – объемная скорость подачи сырья;

ГДС – гидродесульфуризация;

МЭА – моноэтаноламин;

СВД – сепаратор высокого давления;

НИИ – научно-исследовательский институт;

ЖАХ – жидкостно-адсорбционная хроматография;

НУВ – насыщенные углеводороды;

ПЭ – петролейный эфир;

ИСП – иерархическая структура работ;

ПО – программное обеспечение;

ПК – персональный компьютер;

ПЭВМ - персональная электронно-вычислительная машина;

ССБТ - система стандартов безопасности труда;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

Оглавление

Введение.....	17
1. Современное состояние исследования процесса гидроочистки дистиллятного сырья и его роль в нефтепереработке.....	19
1.1 Процесс гидроочистки в составе нефтеперерабатывающих заводов.....	20
1.2 Назначение процесса гидрообессеривания дистиллятного сырья	23
1.3 Сераорганические соединения в сырье нефтепереработки.....	24
1.4 Химизм процесса гидроочистки дистиллятного сырья.....	26
1.5 Катализаторы процесса гидроочистки.....	32
1.6 Современные установки гидроочистки.....	34
1.7 Характеристика сырья и продуктов.....	38
1.8 Влияние технологических параметров на процесс гидроочистки	38
1.8.1 Влияние температуры.....	39
1.8.2 Влияние давления.....	40
1.8.3 Влияние объемной скорости подачи сырья.....	41
1.8.4 Влияние отношения водорода к сырью.....	42
1.9 Этапы разработки математической модели.....	43
2. Экспериментальная часть.....	45
2.1 Объект и методы исследования.....	45
2.1.1 Лабораторная каталитическая установка.....	45
2.1.2 Проведение процесса гидроочистки.....	47
2.1.3 Методы исследования.....	49
2.2 Математическая модель процесса гидроочистки.....	50
2.2.1 Исходные данные для моделирования.....	50
2.2.2. Формализованная схема процесса.....	52
2.2.3. Кинетическая математическая модель процесса.....	54
2.3 Проверка модели на адекватность.....	57

2.4 Результаты, полученные с использованием математической модели.....	59
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	67
3.1 Предпроектный анализ.....	67
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	67
3.1.2 Диаграмма Исикавы.....	68
3.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	70
3.1.4 Методы коммерциализации результатов научно - технического исследования.....	72
3.2 Инициация проекта.....	72
3.2.1 Цели и результаты проекта.....	73
3.2.2 Организационная структура проекта.....	74
3.2.3 Ограничения и допущения проекта.....	75
3.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	75
3.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	75
3.3.2 Контрольные события проекта.....	76
3.3.3 План проекта.....	77
3.4 Бюджет научного исследования.....	80
3.5 Организационная структура проекта.....	84
3.6 Матрица ответственности.....	85
3.7 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	86
4. Социальная ответственность.....	88
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	88
4.2 Производственная безопасность.....	89
4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования.....	89

4.2.1.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.....	90
.	
4.2.1.2 Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона.....	
...	91
4.2.1.3 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания.....	
.	92
4.2.1.4 Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса.....	92
4.2.1.5 Опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой.....	93
4.2.1.6 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.....	94
4.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов.....	95
4.2.2.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	
.....	95
4.2.2.2 Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона.....	
...	95

4.2.2.3 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания.....	96
4.2.2.4 Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса.....	96
4.2.2.5 Опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой.....	97
4.2.2.6 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.....	97
4.3 Экологическая безопасность.....	97
4.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	97
4.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	98
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	99
4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования.....	99
4.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и порядок действия в случае возникновения ЧС.....	0
Выводы.....	10
...	3
Список публикаций студента.....	5
Список использованных источников.....	10
	6
Приложение А.....	11
	4
Приложение Б.....	12
	8

Введение

В современном мире спрос на нефтепродукты существенно изменился с середины 20-го века, развитие автомобильного и воздушного транспорта привело к росту спроса на различные нефтепродукты, такие как дизельное топливо, которое получается в процессе переработки нефти. Однако одной из актуальных проблем нынешней нефтепереработки является: изменение качества добываемой нефти.

С каждым годом нефть становится более тяжелой, более высокосернистой, а также ужесточаются регулирующие нормы и государственные стандарты, которые: во-первых, способствуют охране окружающей среды, а во-вторых, обеспечивают получение товарных нефтепродуктов более высокого качества. Таким образом, самым востребованным процессом нефтепереработки становится гидрогенизационный процесс такой как гидроочистка (ГО).

ГО – основной каталитический процесс, который позволяет в значительной мере удалить серу и другие гетероатомы из нефтяного сырья. Так для производства дизельного топлива с содержанием серы менее 10 ppm, удовлетворяющим нормам европейского экологического стандарта Евро-5, необходимо применение процесса ГО.

Актуальность исследований в данной работе определяется потребностью нефтяных компаний производить высокоэффективное и экологичное топливо.

Цель работы – создание математической модели процесса гидроочистки дистилятного сырья для повышения эффективности процесса и достижения требуемого уровня очистки топлива от серосодержащих соединений.

В процессе исследования для достижения данной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. проведение процесса гидроочистки на лабораторной каталитической установке, с последующим анализом полученных данных.

2. создание формализованной схемы превращений и написание кинетической математической модели процесса.

3. установление кинетических закономерностей протекания реакций гидрообессеривания.

4. проверка созданной модели на адекватность, согласно, проведенного эксперимента.

Объектами исследования в данной магистерской диссертации является процесс гидроочистки дистиллятного сырья.

В качестве **методов исследования** использовался метод математического моделирования, который позволяет улучшать свойства объектов на математических моделях, выполнять вычислительное прогнозирование технологических параметров промышленных установок и используемых катализаторов. Причем математическое моделирование процессов нефтепереработки связано с немалыми трудностями, такими как: многокомпонентность нефтяного сырья и неизведенность детального механизма реакций.

Научная новизна работы состоит в установлении кинетических закономерностей процесса каталитической гидроочистки дистиллятного сырья, на катализаторе KF-905-1.3Q, которые лягут в основу надежной математической модели, пригодной для прогнозирования и оптимизации важнейших показателей качества дистиллятного сырья.

Практическая значимость: будут выработаны рекомендации по улучшению низкотемпературных свойств и снижения содержания серы в дистиллятного сырья на основе численного и экспериментального исследования процесса гидрообессеривания дистиллятного сырья.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГИДРООЧИСТКИ ДИСТИЛЛЯТНОГО СЫРЬЯ И ЕГО РОЛЬ В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ

Особенность добываемых сейчас нефтей заключается в повышенном содержании гетероорганических соединений, в состав которых входят атомы кислорода, серы, азота и металлов, а также высокомолекулярных соединений – так называемых смолисто-асфальтеновых веществ (САВ) [1,2]. Поскольку вторичные каталитические и некаталитические процессы переработки нефтяного сырья (термический крекинг, каталитический крекинг, висбрекинг, замедленное коксование и риформинг) протекают при повышенных температуре и давлении, наличие указанных соединений в нефтепродуктах, полученных на первых стадиях переработки (обычно фракционирующей разгонкой), снижает эффективность последующих процессов. Серо- и азотсодержащие соединения отравляют катализаторы нефтепереработки, а асфальтены, нафтены и их комплексы с металлами, в больших количествах присутствующих в нефтяных фракциях, не только блокируют поверхность катализаторов, но и осаждаются на металлических поверхностях реакторных блоков, значительно ухудшая их эксплуатационные характеристики [3-5].

В то же время планы развития нефтепереработки в России предусматривают активное вовлечение в переработку тяжелых нефтей и битумов. Данная стратегия развития обусловлена ограниченностью запасов легких нефтей и должна привести к увеличению доли гидропереработки и вторичных процессов переработки сырья благодаря вводу в эксплуатацию новых установок по облагораживанию и улучшению качества продуктов первичной переработки нефти [6]. В России промышленные установки гидропереработки тяжелого нефтяного сырья находятся в основном на стадии строительства [7], при этом отсутствует производство соответствующих катализаторов.

Типичными катализаторами гидропереработки являются сульфиды молибдена (вольфрама), промотированные кобальтом (никелем). В процессах с неподвижным, движущимся и псевдоожиженным слоями наноразмерный активный компонент катализатора помещают на носитель, чаще всего на Al_2O_3 .

Гидропроцессы пока еще мало используются в российской нефтеперерабатывающей промышленности, и круг отечественных научных и опытно-конструкторских разработок в этой области недостаточно широк. Соответственно основная литература по данной тематике сконцентрирована в зарубежных и не всегда доступных источниках. Ввиду чрезвычайной важности указанной проблемы для нефтеперерабатывающих компаний имеется большое количество патентной литературы по этой теме, однако существенная часть научных и технологических исследований закрыта для широкого круга читателей [6].

1.1 Процесс гидроочистки в составе нефтеперерабатывающих заводов

По состоянию на 01.01.2019, добычу нефти и газового конденсата (нефтяного сырья) на территории Российской Федерации осуществляли 290 организаций, имеющих лицензии на право пользования недрами, в том числе:

- 100 организаций, входящих в структуру 11 вертикально-интегрированных компаний (ВИНК);
- 187 независимых добывающих компаний, не входящих в структуру ВИНК;
- 3 компании, работающие на условиях соглашений о разделе продукции.

По итогам 2018 г., объем национальной добычи нефтяного сырья вырос относительно 2017 г. на 9,1 млн т (+1,7%) и составил в абсолютном выражении 555,9 млн т. Из полученного прироста, более половины (+5,0 млн т, +13,5%) было получено на новых месторождениях со сроком эксплуатации до 5 лет [8].

Динамика добычи нефти и газового конденсата с 2009 по 2018 года представлена на рисунке 1 [8]:

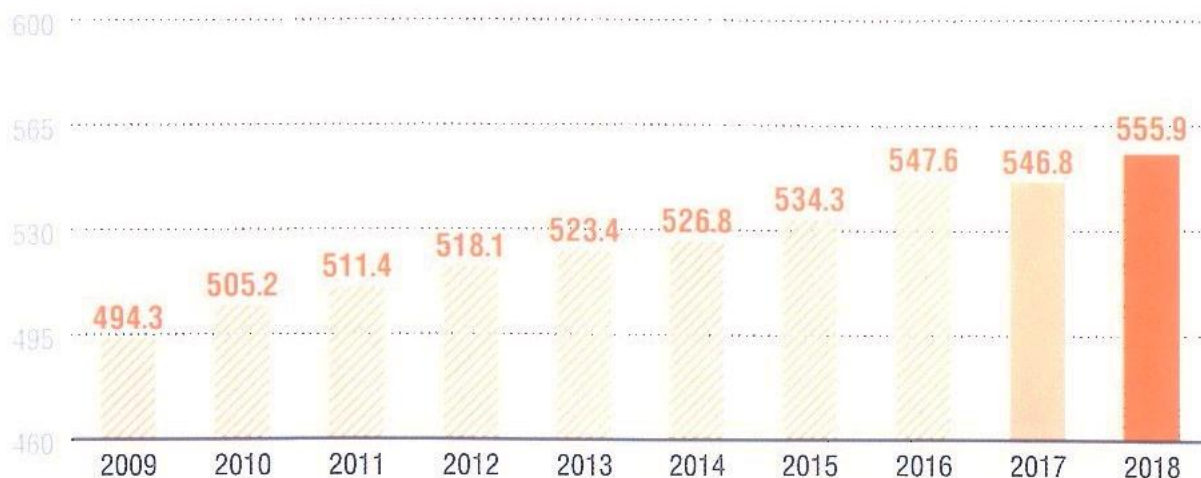


Рисунок 1 – Добыча нефти, включая газовый конденсат, млн. т

По данным отчета, о состоянии российского рынка дизельного топлива, на август 2019 года:

- на протяжении последних трех лет в России наблюдается подъем производства топлива дизельного;
- в 2018 году в России было произведено 77 478,2 тыс. тонн топлива дизельного, что на 0,9% больше объема производства предыдущего года;
- производство топлива дизельного в августе 2019 года увеличилось на 7,2% к уровню августа прошлого года и составило 7 053,6 тыс. тонн;
- лидером производства топлива дизельного в (тыс. тонн) от общего произведенного объема за 2018 год стал Приволжский федеральный округ (с долей около 40,4%);
- средняя цена производителей на топливо дизельное в 2019 году уменьшилась на 4,4% к уровню прошлого года и составила 31 869,8 руб./тонн;
- средняя розничная цена на дизельное топливо в 2019 году выросла на 6,4% к уровню прошлого года и составила 46,5 руб./л [9].

Такая благоприятная ситуация в России сложилась в результате увеличения темпов роста экономики и энергетики в развивающихся странах мира, потому что производство электроэнергии и транспорт являются первостепенными потребителями.

В России автомобили с дизельным двигателем никогда особым спросом не пользовались.

Тем не менее, доля дизельных машин на российском рынке в последние годы постепенно росла - с 2% в 2006 году до 8,2% в 2018-м. Но вот в нынешнем году продажи автомобилей, работающих на тяжелом топливе, стали снижаться. Так, в первом квартале 2019-го россияне приобрели 29,5 тыс. новых легковых машин на солярке - это на 3% меньше, чем годом ранее. В результате их рыночная доля сократилась до 8%, гласят данные агентства "Автостат" [10].

Однако, гидроочистка является самым крупнотоннажным процессом современных нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) [11]. Спрос на дистиллятное сырье увеличивается во всём мире (рис.2). По данным [12] спрос на дистилляты, такие как керосин, дизельное и реактивное топливо, также будет увеличиваться в ближайшее время.

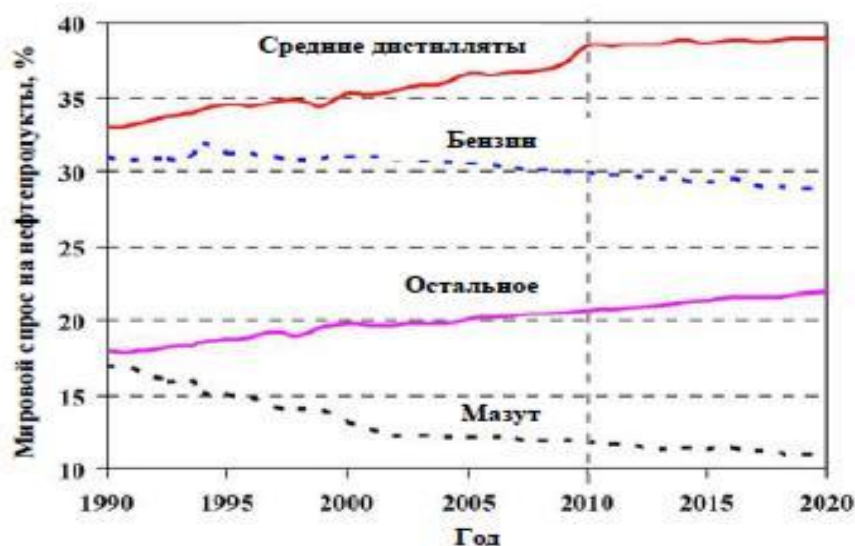


Рисунок 2 – Развитие спроса на нефтепродукты в мире с 1990 по 2020 годы

На рисунке 3 представлена диаграмма на основе показателей пяти ведущих компаний [13]:

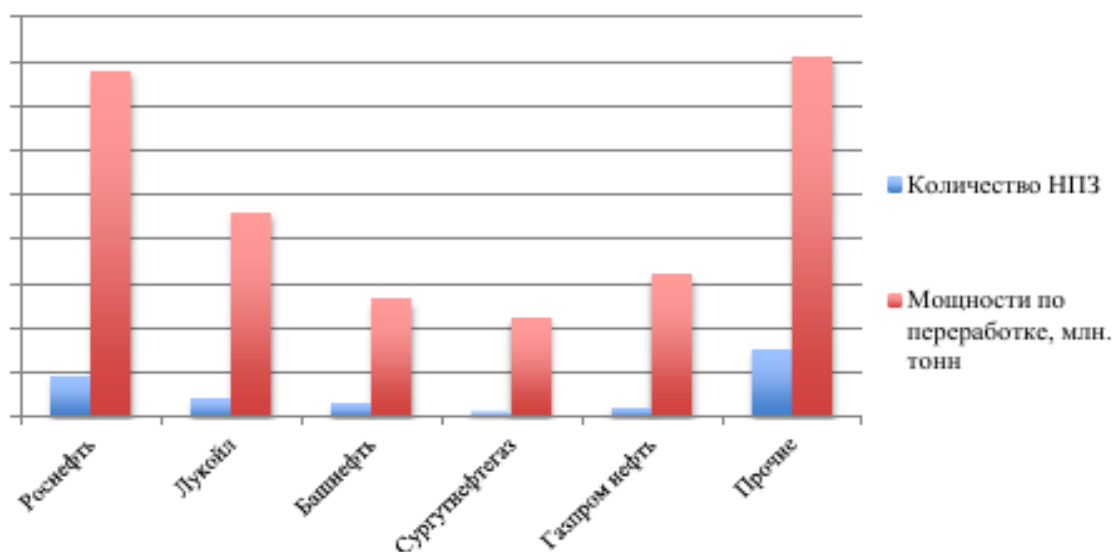


Рисунок 3 – Количество НПЗ и их мощности у крупнейших нефтегазовых компаний РФ за 2019 год

Внимание к процессу ГО с каждым годом только увеличивается, в связи с тем, что добываемая нефть является более высокосернистой, переработка нефти имеет тенденцию углубления, а требования ГОСТ к качеству нефтяного сырья только ужесточаются.

1.2 Назначение процесса гидрообессеривания дистиллятного сырья

Гидрообессеривание – процесс облагораживания сырья на активной поверхности катализатора, в среде водородсодержащего газа (ВСТ). В отличие от гидрокрекинга, процесс проходит в более мягких условиях [14].

На кинетику процесса оказывает значительное влияние ряд факторов: температура, давление, парциальное давление водорода, время контакта сырья с катализатором в реакционной зоне, активность катализатора. Некоторые эти параметры невозможно контролировать оператору технологической установки. Управление процессом, в первую очередь, осуществляется за счет изменения температуры в реакционной зоне.

При гидрообессеривании происходит разделение сераорганических и частично кислород- и азотсодержащих соединений. Далее продукты разложения насыщаются водородом с образованием простых соединений, таких как сероводород, вода, аммиак, а также предельные и ароматические углеводороды (АУВ) [15].

Содержание загрязняющих веществ (различных гетероатомов: серы, кислорода, азота и др.) оказывает влияние на качество, получаемого дизельного топлива. В связи с этим, количество этих загрязняющих веществ должно соответствовать экологическим нормам ЕВРО-5,6. Дизельное топливо, отвечающее этим нормам, содержит менее 10 ppm серы в своём составе. Для производство такого топлива необходимо использование установок гидроочистки с высокоактивными катализаторами и жёсткие технологические условия.

Для соблюдения экологических норм, ограничивающих содержание серы, многие страны инвестируют в производство дизельного топлива со сверхнизким содержанием серы [16].

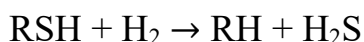
Так необходимо вести разработку наиболее эффективных катализаторов, оптимизировать технологические параметры процесса ГО и модернизировать реактора ГО, чтобы быть востребованным на рынке.

1.3 Сераорганические соединения в сырье нефтепереработки

Сера является одним из постоянных компонентов в составе нефти. Она содержится как в свободном состоянии, например, раствор серы в нефти, так и в виде сероводорода, который также растворен в нефти.

В результате реакций из сераорганических соединений образуется сероводород и углеводороды, строение которых зависит от строения исходных сернистых соединений.

1. Меркаптаны:

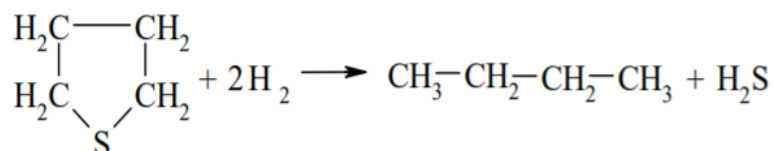


2. Сульфиды:

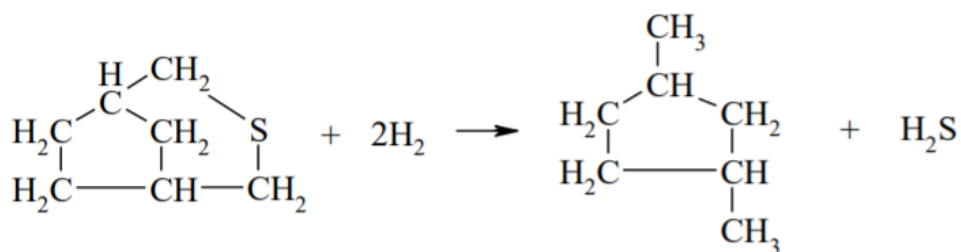
а) ациклические



б) моноциклические



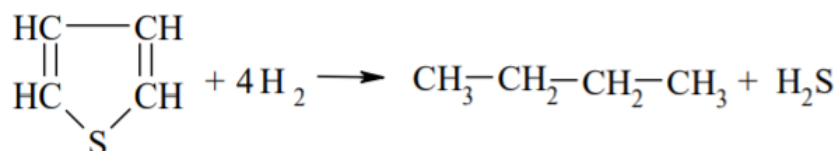
в) бициклические



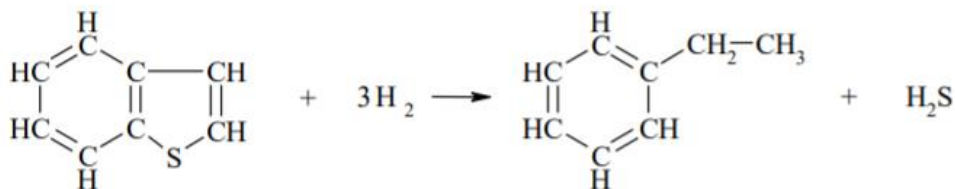
3. Дисульфиды:



4. Тиофены:



5. Бензотеофены:



Тиоэфиры, сложные тиоэфиры, тиоацетали характеризуются наличием $\text{C} - \text{S} - \text{C}$ - связей. По отношению к $\text{C} - \text{C}$ связи, $\text{C} - \text{S}$ связь более длинная, так как атом S крупнее, и данная связь на 10% слабее. Тиоэфиры, сложные

тиоэфиры, тиацетали характеризуются наличием [17].

Тиацетали и тиокетали включают в себя последовательность $C - S - C - S - C$ и представляют собой подкласс тиоэфиров. Тиацетали и тиокетали могут быть использованы для защиты карбонильной группы в органическом синтезе.

Тиоэфиры имеют общую структуру $R - CO - S - R$. Они относятся к обычным эфирам, но более активны [18].

Также существуют выше классы соединений серы в насыщенных и ненасыщенных гетероциклических структурах, часто в сочетании с другими гетероатомами, как показано на примере тиранов, тириенов, тиэтанов, дитиэтанов, тиоланов, тианов, дитианов, тиэфанов, тиэфинов, тиазолов, изотиазолов и тиофены (Т). Последние три соединения представляют собой особый класс серосодержащих гетероциклических соединений, относящихся к классу ароматических.

Однако, как ароматический заместитель, тиа группа является менее эффективной в качестве активирующей группы, чем алкоксигруппы. Дибензотиофена (ДБТ). Трициклический гетероцикл, состоящий из двух конденсированных бензольных колец с центральным кольцом тиофена широко встречается в более тяжелых фракциях нефти, а также его алкилзамещённых производных [19].

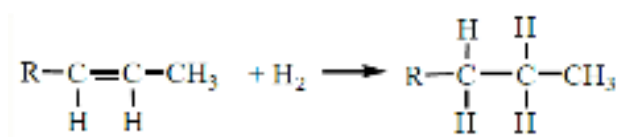
1.4 Химизм процесса гидроочистки дистиллятного сырья

Процесс гидроочистки дизельного топлива протекает при достаточно высоких значениях температуры и давления в присутствии катализатора. Главной целью процесса является удаление из нефтяных дистиллятов серо-, азот-, и кислородсодержащие соединения, а также металлсодержащие соединения, насыщение непредельных и диеновых углеводородов и в отдельных случаях частичное гидрирование ароматических структур [20].

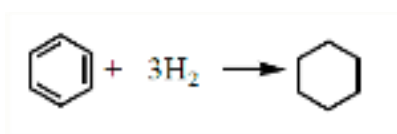
Данному процессу свойственна совокупность ряда параллельных и последовательных реакций, где участвуют все компоненты, содержащиеся в исходной сложной смеси.

Основные реакции гидрирования углеводородов: насыщение алкеновых связей:

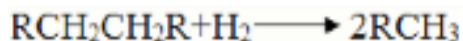
- насыщение алкеновых связей



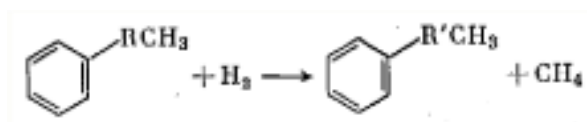
- насыщение ароматических связей



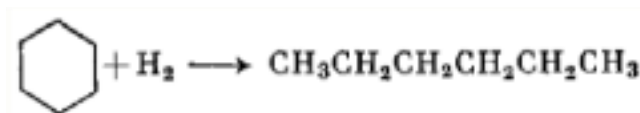
- крекинг алканов



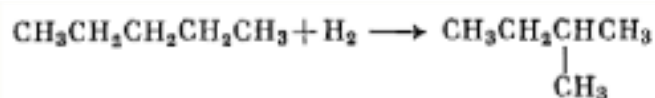
- деалкилирование алкилбензолов



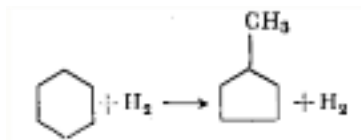
- крекинг циклоалканов



- гидроизомеризация алканов



- гидроизомеризация циклоалканов

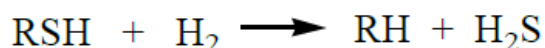


Интенсивность реакций может изменяться в достаточно широких пределах. Это зависит от условий протекания процесса и типа катализатора.

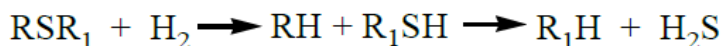
Химизм процесса гидроочистки сводится к деструкции связей C – S, C – N, C – O и практически не затрагивает C – C. Гетероатомные соединения подвергаются гидрогенолизу лучше и быстрее, чем углеводороды, поэтому гетероатомы удаляются из сырья в виде H₂S, NH₃, H₂O. Легче всего удаляется сера, далее кислород и наиболее устойчив азот [21].

Превращения сернистых соединений в условиях гидроочистки протекают в направлении выделения гетероатома в виде сероводорода, так как связи C – S и S – S менее прочны, чем связи C – C и C – H, то первичной является разрыв связи C – S и присоединение водорода к образующимся осколкам молекулы. Этим и достигается освобождение конечных продуктов от вредных примесей. Схемы реакций каталитического разложения основных сернистых соединений в присутствии водорода [22, 20]:

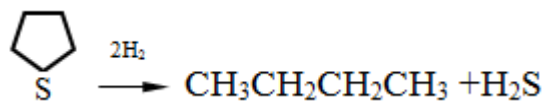
- меркаптаны превращаются в соответствующий углеводород и сероводород:



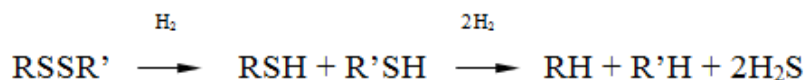
- сульфиды гидрируются через стадию образования меркаптанов и затем также превращаются в соответствующий углеводород и сероводород:



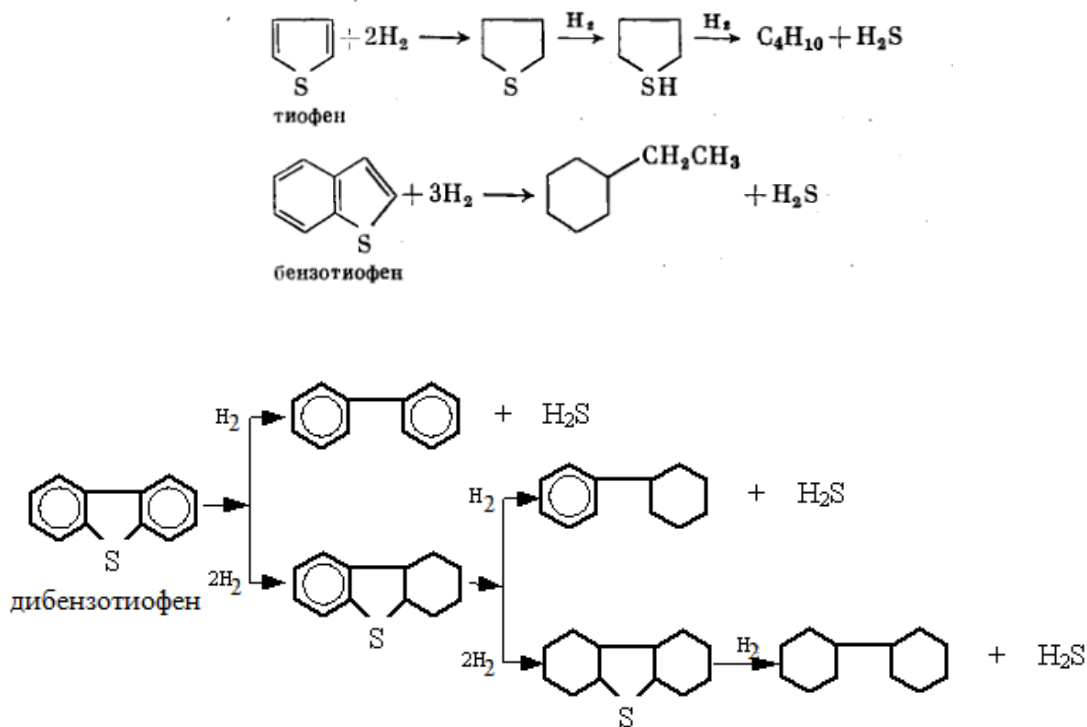
- циклические сульфиды, гидрируются до соответствующих алифатических углеводородов и сероводорода:



- дисульфиды гидрируются до сероводорода и соответствующих углеводородов, аналогично, через стадию образования меркаптанов:



Соединения тиофенового ряда представлены бензотиофеном (БТ), дибензотиофеном, алкилдибензотиофенами и диалкилдибензотиофенами.



Тиофен, бензотиофен и дибензотиофен сначала гидрируются до производных тиофана, которые при последующем гидрировании превращаются в парафиновые и алкилароматические углеводороды. Насыщение ароматических колец в условиях гидроочистки не происходит, оно возможно при более жестких условиях гидрирования.

Устойчивость основных сернистых соединений увеличивается в следующем ряду [19]:



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 приведены данные о гидрировании некоторых азот-, кислород- и сероорганических аналогов на Ni_2S_3 [23].

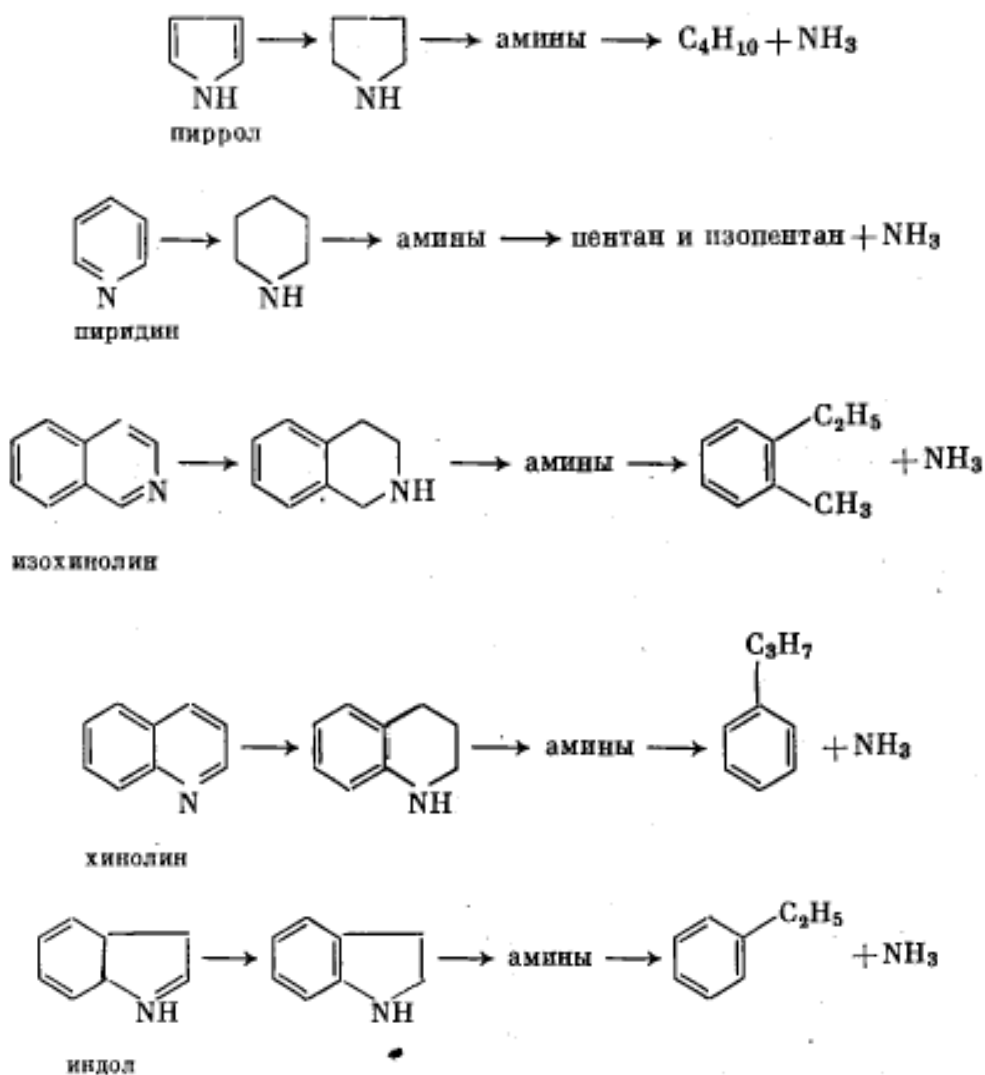
Таблица 1 - Степень превращения различных видов гетероатомных соединений в зависимости от температуры

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

Кроме сернистых соединений в нефтяных дистиллятах также присутствуют азотосодержащие и кислородосодержащие соединения. Азот в нефтепродуктах находится в основном в гетероциклах в виде производных пиррола, пиридина, хинолина и карбазола.

Гидрирование азотсодержащих соединений начинаются с насыщения гетероциклического кольца, а затем происходит разрыв гидрированного кольца

в различных положениях с образованием первичных и вторичных аминов. Затем протекает дальнейший гидрогенолиз с образованием ароматических углеводородов с короткими боковыми цепями, парафиновых углеводородов и свободного аммиака [24].



Кислород в нефтяных 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 [25].

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 [14].

1.5 Катализаторы процесса гидроочистки

Гидроочистка – это каталитический процесс, химические превращения в процессе происходят в присутствии катализатора. Требования, предъявляемые к качеству дизельного топлива, постоянно ужесточаются, поэтому большое внимание уделяется тщательному подбору и поиску наиболее эффективных катализаторов [26].

В частности, сейчас очень желательно обессеривание дизельного топлива, потому что сера может оказывать неблагоприятное воздействие на продолжительность срока службы каталитического преобразователя обработки выхлопных газов.

Обессеривание возможно, если модифицировать рабочие условия гидроочистки, такие как температура и объемная скорость подачи сырья (ОСПС). Однако, более высокая температура реакции приводит к коксообразованию на катализаторе и быстрой дезактивации катализатора, а низкая объемная скорость подачи сырья приводит к снижению эффективности гидроочистки, таким образом, требуя дополнительного реактора или его замену. Следовательно, лучший путь достижения сверхглубокой гидродесульфуризации (ГДС) без изменения технологических режимов и в то же время с сохранением экономической эффективности – это разработка катализаторов, имеющих очень высокую ГДС активность [27].

К катализатору предъявляется ряд требований, катализатор должен

обладать определенным набором характеристик, представленных ниже [28].

Активность – важнейшая характеристика катализатора, выражающая его способность ускорять химическую реакцию. Количественно активность определяют как разницу между скоростью реакции в данных условиях и скоростью той же реакции без катализатора. Чем выше активность катализатора, тем большая скорость химической реакции достигается. Значение активности используют для сравнительной оценки катализаторов при их подборе, а также для характеристики качества катализатора. В зависимости от вида катализа активность обычно выражают через скорость реакции, отнесенную к единице концентрации, объема или массы катализатора. Активность можно выражать так же снижением энергии активации при участии катализатора или отношением константы скорости данной реакции в присутствии катализатора к константе скорости этой же реакции без него.

Селективность или избирательность - его одно наиболее важное свойство катализатора, выражающее способность катализатора избирательно ускорять целевую реакцию при наличии нескольких побочных.

Механическая прочность характеризует износостойкость и прочность катализатора в течение всего рабочего цикла.

Период регенерации и срок службы образом зависит от способа загрузки катализатора, его типа, условий проведения процесса, чистоты исходного сырья.

Стоимость – экономический показатель, катализатор должен обладать заданными свойствами при наименьших затратах.

Главнейшими свойствами, которыми должен обладать катализатор гидроочистки, является высокая активность к реакциям разрыва связи C – S, связи C – N, C – O и к реакциям насыщения непредельных углеводородов [28].

Простым методом улучшения рабочих показателей гидроочистных установок является замена катализатора процесса на активный катализатор. Однако наличие многих видов производственных катализаторов, отсутствие объективной информации об активности катализаторов и их структурных

характеристиках затрудняет выбор специальных катализаторов гидроочистки для определенного вида перерабатываемого сырья.

В литературных источниках рассмотрены результаты изучения влияния стадий изготовления катализаторов на активность химических и физических свойств. Основные характеристики, влияющие на активность катализатора: свойства транспортера, размер пористости, эффективное соответствие удельной поверхности и диаметра пористости, количество активных компонентов и промоторов, количество молибдена (MoO) [29].

1.6 Современные установки гидроочистки

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 HC – K и HC – 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 HC – K и усовершенствованном цеолитном катализаторе DHC – 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 коксуетности остаточного сырья 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 мм²/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 [30].

Современные установки гидроочистки дизельных фракций – это установки со стационарным слоем катализатора. Процесс, как правило, осуществляется в условиях, при которых 95 – 96 % масс. исходного сырья превращается в гидроочищенный продукт. Типовые проекты для гидроочистки дизельных фракций: Л – 24 – 5, Л – 24 – 6, Л – 24 – 7, Л – 24 – 8. Типовые мощности: 300 тыс. т/год, 600 тыс. т/год, 2000 тыс. т/год [31].

Целевым продуктом процесса гидроочистки является стабильный гидрогенизат, выход которого составляет 97% (мас.), бензин – до 1,5 % (мас.), углеводородный газ – до 0,7% (мас.), сероводород – до 2,5% (мас.) и отдуваемый водородсодержащий газ [32].

Установка гидроочистки дизельного топлива состоит из ряда блоков, каждый из которых имеет свое назначение [33]:

- Реакторный блок

Включает в себя теплообменник, применяющийся для нагрева газосырьевой смеси, нагревательная печь, один или два реактора, сепараторы и контур циркуляционного газа с компрессорами. Это основной блок, где непосредственно происходит гидрообессеривание дизельного топлива реакционных аппаратах и разделение газопродуктовой смеси в сепараторах на жидкие продукты реакции, углеводородный газ и циркулирующий водородсодержащий газ.

- Блок стабилизации

Состоит из ряда теплообменников и колонны стабилизации, которая служит для отделения от нестабильного гидрогенизата бензина-отгона с получением стабильного дизельного топлива.

- Блок очистки циркулирующего водородсодержащего газа и

углеводородный газ от сероводорода раствором моноэтаноламина

Очистка производится в отдельных абсорберах колонного типа, имеющих в качестве контактных устройств тарелки S-образного типа. Наверх абсорберов подается 10 – 15%-ный раствор моноэтаноламина (МЭА), который контактирует на тарелках с поднимающимися в верхнюю часть абсорберов водородсодержащим или углеводородным газами и поглощает из них сероводород.

- Блок регенерации раствора МЭА

Состоит из регенератор-десорбер, паровой подогреватель-ребойлер и теплообменную аппаратуру. Регенерацию осуществляют в колонном аппарате, оборудованном контактными устройствами тарельчатого типа. Температурный режим регенератора поддерживается за счет циркуляции регенерированного раствора МЭА через ребойлер. Сероводород сверху регенератора направляют в процесс Клауса, а с низа его регенерированный МЭА возвращается в блок очистки газов.

На рисунке 4 изображена принципиальная схема установки ЛЧ – 24 – 2000 [14]:

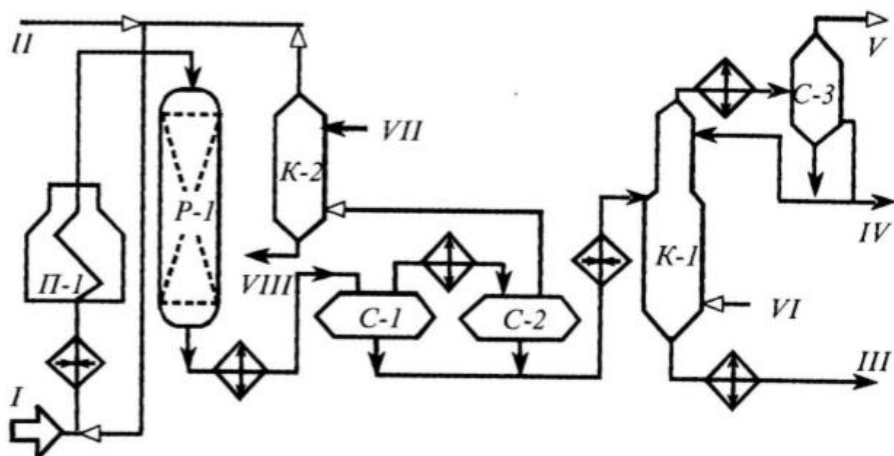


Рисунок 4 – Принципиальная технологическая схема установки гидроочистки дизельной фракции ЛЧ – 24 – 2000: I – сырье; II – свежий водородсодержащий газ; III – гидрогенизат; IV – бензиновая фракция; V – углеводородный газ на очистку; VI – отдувочный водородсодержащий газ; VII – регенерированный

моноэтаноламин; VIII – отработанный моноэтаноламин на регенерацию

После атмосферной перегонки нестабильное дизельное топливо смешивается с водородсодержащим газом, нагнетаемым центробежным компрессором. Полученная газосырьевая смесь проходит предварительный нагрев в сырьевом теплообменнике, затем поступает в трубчатую печь П – 1, где происходит нагрев до температуры реакции (340 – 420 °С) и далее смесь направляется в реактор Р – 1. В реакторе Р – 1 непосредственно протекает процесс гидроочистки. После реактора газопродуктовая смесь частично охлаждается в сырьевом теплообменнике (до температуры 210 – 230 °С) и подается в горячий сепаратор С – 1, где происходит отделение водородсодержащего газа от нестабильного гидрогенизата.

Отделившийся ВСГ направляется в холодильник, а затем в холодный сепаратор С – 2, где полностью отделяется от нестабильного гидрогенизата и направляется в абсорбер К – 2 на моноэтаноламинную очистку от сероводорода. Далее очищенный ВСГ направляется обратно в систему циркуляции, а отработанный моноэтаноламин на регенерацию.

Нестабильный гидрогенизат после сепараторов С – 1 и С – 2 предварительно нагревается в теплообменнике и подается в стабилизационную колонну К – 1. В низ колонны К – 1 подается нагретый в печи П – 1 отдувочный водородсодержащий газ для удаления легкокипящих углеводородов и бензиновой фракции. В результате с верха колонны легкокипящие углеводороды отгоняются и попадают в конденсатор, где охлаждаются и поступают в сепаратор С – 3, для дальнейшего разделения на углеводородные газы и бензиновую фракцию. С низа колонны К – 1 выходит стабилизированное дизельное топливо [14].

1.7 Характеристика сырья и продуктов

Глубина очистки дистиллятов от серы и других соединений зависит от типа углеводородного сырья, температуры процесса, парциального давления водорода, кратности циркуляции ВСГ, объемной скорости подачи сырья в реакционную зону.

Процессу подвергают прямогонные фракции: дизельное топливо, реактивное топливо, бензин, вакуумные газойли, а также продукты вторичной переработки: пиролизная смола, легкие газойли коксования и бензины каталитического крекинга.

Степень очистки от серы уменьшается с утяжелением сырья, так как большая его часть находится в жидкой фазе, а соответственно увеличивается вязкость и снижается растворимость водорода. Тем самым скорость диффузии водорода через тонкую пленку жидкости на активную поверхность катализатора снижается. Катализаторы имеют термостойкие носители с высокой механической прочностью, так как плотно адсорбирующиеся на поверхности катализатора ароматические углеводороды, смолы, нафтены, снижают активность катализатора и, следовательно, степень очистки от сернистых соединений [34].

1.8 Влияние технологических параметров на процесс гидроочистки

Основным оборудованием процесса является реактор гидроочистки дизельного топлива. Реактор представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд с шаровыми днищами. Он отличается меньшим отношением высоты аппарата к диаметру, заполнение катализатора в два слоя. Между двумя слоями подается холодный ВСГ (квенч) для поддержания равномерной температуры в реакторе [35].

В соответствии с механизмом протекания реакций гидроочистки дизельного топлива скорость реакции зависит от химической природы сырья,

физических свойств сырья, типа катализатора и его состояния, парциального давления водорода, объемной скорости подачи сырья, температуры и конструкции реактора. В связи с тем, что скорость реакции является сложной функцией каждого из этих параметров и большинство из них взаимосвязаны, то оценить влияние каждого параметра отдельно практически невозможно. Поэтому можно выявить, какие факторы наиболее важны и как следует изменять эти параметры для достижения оптимальных результатов [23].

1.8.1 Влияние температуры

При повышении температуры повышается скорость реакции гидрирования.

Кроме того, они действительно становятся доступны и повышаются термодинамические возможные потери ненасыщенных углеводородов и продуктов дегидрировании полициклических циклоалканов. В зависимости от качества исходного сырья и требований к очищенной продукции применяется температура 250 – 420 °С. При невозможности проведения реакции гидрокрекинга и дегидрирования применяют минимальную температуру. Для обеспечения максимальной скорости очистки используется максимальная температура 400 – 420 °С. Фракции, используемые в качестве дизельного топлива, можно очистить при температуре до 400 – 420 °С, при дальнейшем повышении температуры снижается количество цетанов в результате дегидрирования би- и полициклических циклоалканов, повысится расход газа и бензина, и в результате реакции гидрокрекинга быстро увеличивается расход водорода. Нижний предел температуры очистки в этом случае определяется возможностью конденсации тяжелых фракций сырья; появление жидкой фазы тормозит гидрирование в результате ограничения скорости переноса водорода на поверхность катализатора, т. е. скорости диффузии, протекающей через жидкую оболочку [36].

Влияние температуры на процесс гидроочистки дизельного топлива представлено на рисунке 5.

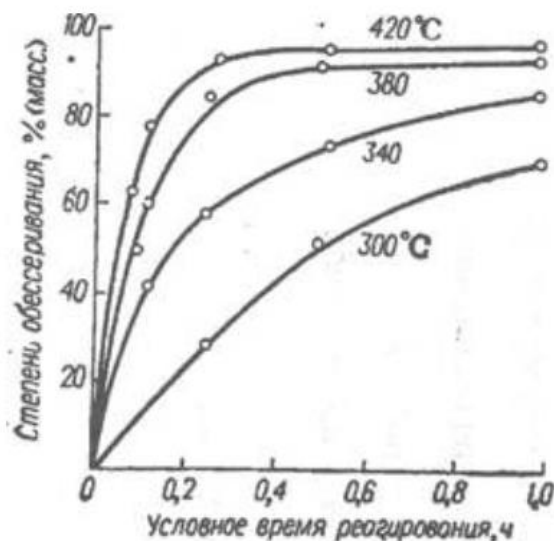


Рисунок 5 - Зависимость степени обессеривания дизельного топлива от температуры [28]

1.8.2 Влияние давления

На эффективность процесса гидроочистки в большей мере влияет не общее давление в системе, а парциальное давление водорода.

Повышение давления при неизменных прочих параметрах процесса вызывает изменение степени превращения в результате увеличения парциального давления водорода и содержания жидкого компонента в системах. Первый фактор способствует увеличению степени превращения, второй замедляет протекание реакции. При возрастании общего давления в системе растет парциальное давление водорода, способствующее увеличению глубины гидроочистки [37].

Влияние парциального давления водорода на процесс гидроочистки дизельного топлива представлено на рисунке 6.

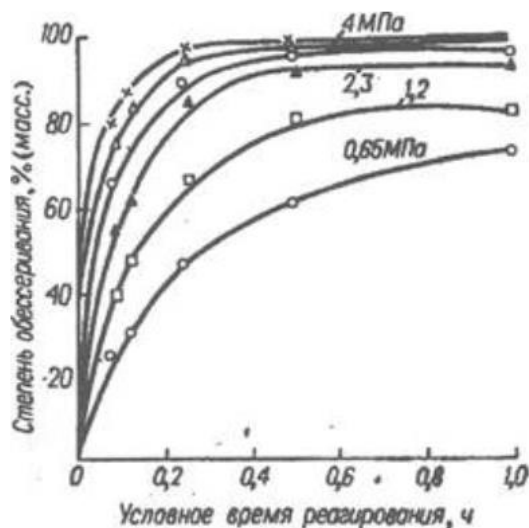


Рисунок 6 – Зависимость степени обессеривания дизельного топлива от парциального давления водорода [28]

Общее давление в системе находится от 2,5 до 6 МПа, при этом парциальное давление водорода составляет 1,5 – 3,7 МПа. Чем тяжелее исходное дизельное топливо и чем больше в нем непредельных углеводородов, тем выше должно быть парциальное давление водорода в водородсодержащем газе на входе в реактор. С повышением парциального давления водорода улучшается степень очистки, уменьшается коксообразование и увеличивается срок службы катализатора [22].

1.8.3 Влияние объемной скорости подачи сырья

Объемной скоростью подачи сырья называется отношение объема жидкого сырья, подаваемого в единицу времени, приходящийся на весь объем катализатора в реакторе. Степень обессеривания напрямую зависит от объемной скорости подачи сырья, так с понижением объемной скорости подачи сырья будет увеличиваться степень обессеривания, поскольку время контакта сырья и поверхности катализатора будет больше, но в связи с этим снижается и количество сырья, проходящего через реактор. В результате чего снижается производительность установки.

Увеличение объемной скорости сырья приводит к уменьшению продолжительности времени контакта при парофазном процессе и ведет к снижению интенсивности каталитических и термических реакций. Однако при этом уменьшается расход водорода и образование кокса на поверхности катализатора [23].

Для каждого вида сырья можно экспериментальным путем определить оптимальную объемную скорость подачи сырья. Причем, необходимо учитывать влияющие на процесс гидроочистки параметры: температуру проведения процесса, парциальное давление водорода, состояние катализатора и его тип.

Так оптимальными для процесса гидроочистки дистиллятного сырья считаются $4 - 6 \text{ ч}^{-1}$ при которых получается топливо с необходимым содержанием серы.

1.8.4 Влияние отношения водорода к сырью

Процесс гидроочистки дизельной фракции происходит в присутствии ВСГ. Кратность циркуляции выражается соотношением количества подаваемого циркулирующего ВСГ в нм^3 к количеству сырья в м^3 .

Относительное количество подаваемого водорода выражается молярным соотношением водорода и сырья на входе в реактор. При молярном соотношении выше 5:1 глубина гидроочистки возрастает незначительно, что объясняется уменьшением времени контакта паров сырья и катализатора за счет больших объемов сырья, проходящих через реактор [27].

К ухудшению степени гидрообессеривания приводит уменьшение молярного соотношения ниже 5:1 (водород:сырье). Подачей свежего ВСГ можно осуществлять подпитку системы водородом.

Требуемая же глубина гидрообессеривания при гидроочистке дистиллятного сырья достигается при концентрации водорода более 75 % объема и кратности циркуляции $500 - 800 \text{ нм}^3 / \text{м}^3$.

1.9 Этапы разработки математической модели

Метод математического моделирования позволяет улучшать свойства объектов на математических моделях, осуществлять компьютерное прогнозирование оптимальных схем и режимов эксплуатации промышленных установок. Причём математическое моделирование процессов нефтепереработки сопряжено со значительными трудностями, связанными с многокомпонентностью и не изученностью детального механизма.

Основой для построения математических моделей многокомпонентных химических процессов, а именно для каталитического процесса гидроочистки дизельного топлива, служит кинетическая модель химических реакций, протекающих на поверхности катализатора.

Кинетическая модель химических реакций, протекающих на поверхности катализатора, представляется совокупностью стехиометрических уравнений, характеризующие пути превращения компонентов реакционной смеси, и дифференциальных или алгебраических уравнений, определяющих скорости изменения концентраций ключевых компонентов реакционной смеси в зависимости от состава, температуры и давления [38].

Основные требования, предъявляемые к кинетической модели [39 – 41]:

1. Модель должна быть непротиворечивой относительно всей совокупности экспериментальных данных и теоретических представлений о механизме изучаемой реакции;
2. Модель должна описывать процесс в широкой области изменения концентраций, температуры, давления и допускать экстраполяцию за пределы исследованной области указанных переменных;
3. По возможности модель должна быть проста, пригодна для теоретического анализа и описывать основные закономерности химической реакции, протекающей на поверхности катализатора.

Исходя из перечисленных требований, можно сформулировать следующие принципы построения кинетических моделей:

1. Экспериментальному изучению кинетики и построению кинетической модели должен предшествовать анализ уже существующих теоретических представлений и экспериментальных данных о механизме и кинетике превращения реагентов на изучаемом катализаторе или родственных ему по химическому составу и свойствам;

2. Основой для построения кинетической модели являются экспериментальные данные по кинетике превращения реакционной смеси на изучаемом катализаторе;

3. Экспериментальные данные о механизме и кинетике взаимодействия реагентов на поверхности катализатора должны иметь полноту, необходимую для построения и выбора непротиворечивой экспериментальным данным кинетической модели;

4. Кинетические методы исследования должны сочетаться с другими физико-химическими методами исследования взаимодействия реагентов с поверхностью катализатора или отдельных стадий химической реакции – ЯМР, ЭПР, ИК – спектроскопия, изотопные, адсорбционные и др.;

5. Стратегия экспериментальных кинетических исследований должна определяться с помощью методов оптимального планирования экспериментов;

6. При математической обработке экспериментальных кинетических данных необходимо использовать статистические методы обработки и оценки полноты и степени правдоподобия конкурирующих кинетических моделей.

Создание кинетической модели можно разбить на три этапа: выдвижение гипотез о вероятных механизмах изучаемой реакции, постановка начальной серии экспериментов для выяснения основных кинетических закономерностей и расчета начальных значений кинетических констант [38].

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

3.1 Предпроектный анализ

На сегодняшний день об экономии природных ресурсов стали вновь появляться статьи, а также начали разрабатываться новые программы ресурсосбережения и ресурсопотребления, которые всегда являлись достаточно актуальной проблемой. Этому способствует активизация антропогенного воздействия на окружающую среду. А рыночная ценность научного исследования указывает на его перспективность и востребованность.

Так как гидроочистка – это самый популярный процесс нефтепереработки и его роль на нефтеперерабатывающих заводах только возрастает, то необходимо разрабатывать программы для математического моделирования процесса ГО. Такие программы необходимы для оптимизации производственного процесса и повышения его эффективности. Научное исследование проводилось на кафедре Томского политехнического университета «Химической технологии топлива и химической кибернетики».

Настоящий проект даст возможность внедрить новые инновационные технологии, которые, с точки зрения новаторских тенденций в развитии науки и техники в России, является выгодной инвестицией в успешное развитие нашей страны и поднятие ее престижа на общемировой научно-технической арене.

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для того чтобы проанализировать потребителей результатов исследования необходимо осуществить сегментирование целевого рынка и рассмотреть его.

Сегменты рынка, на котором в будущем будет реализовываться разработка называется целевым рынком. А сегменты рынка – это отведенная часть рынка или группа потребителей, обладающая характерными общими признаками.

Целевым рынком настоящего программного продукта являются НПЗ Российской Федерации, на которых есть установка ГО дистиллятных фракций.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Потому как в России количество НПЗ достаточно много, то будем проводить сегментацию, чтобы выяснить каким из них представленная разработка наиболее рациональна и необходима.

Таблица 9 – Карта сегментирования рынка

		Товарный продукт		
Компании		Бензин	Дизельное топливо	Авиационное топливо
	«Ангарская НХК»	-	-	+
	«Омский НПЗ»	+	+	+
	«Томский НПЗ»	+	+	+

Из таблицы 9 видно, что результаты исследования и разработка интересны и актуальны для компаний: «Омский НПЗ» и «Томский НПЗ». Потому как они занимаются выпуском дизельного топлива и таким образом, они нуждаются в разработанном программном продукте, в отличие от «Ангарская НХК», которой данная разработка не представляет интереса.

3.1.2 Диаграмма Исикавы

Диаграммой Исикавы называется графический метод анализа и создания причинно-следственных связей, необходимое для систематического определения причин проблемы и дальнейшего графического отображения (рисунок 24).

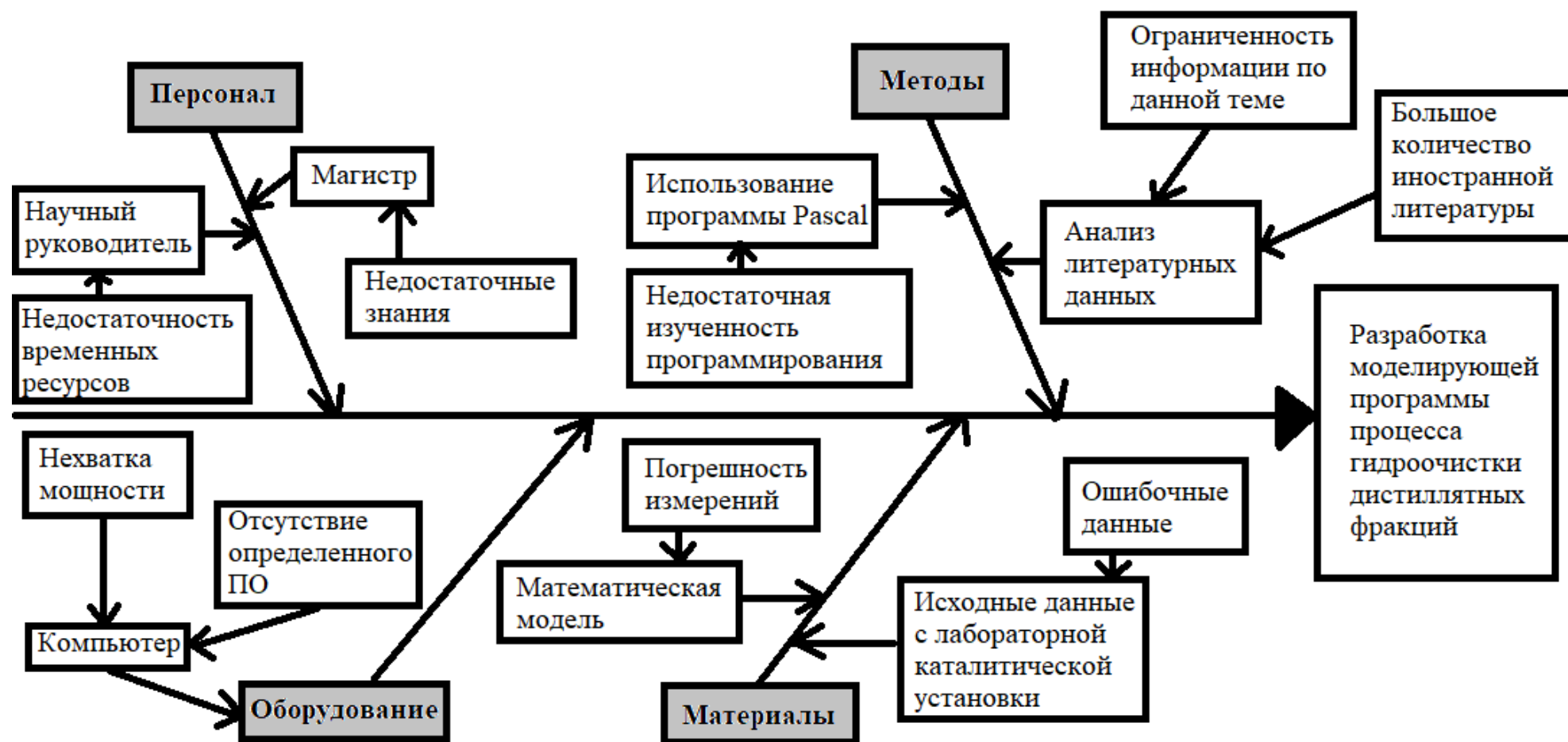


Рисунок 24 – Причинно-следственная диаграмма Исикавы

3.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения), данные представлены в таблице 10 [45].

Таблица 10 - Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработан- ности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	1
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4

Продолжение таблицы 10

10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	1
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	2	1
	ИТОГО БАЛЛОВ	38	33

При оценке уровня знаний разработчика использовалась следующая система: 5 баллов – знаю теорию, самостоятельно выполняю и могу проводить консультации, 4 балла – знаю теорию и выполняю, 3 балла – знаю теорию и примеры применения на практике, 2 балла – знаю теорию, 1 балл – мало знаю теорию. Система баллов при оценке степени проработанности научного проекта: 5 баллов – есть положительное заключение независимого эксперта, 4 балла – качественное выполнение, 3 балла – не качественное выполнение, 2 балла – проработано слабо, 1 балл – не проработано.

Так из таблицы 10 следует, что оценка готовности научного проекта к коммерциализации является средней, потому что суммарное количество баллов по каждому направлению лежит в пределах от 44 до 30. В результате необходима проработка слабых мест научного проекта, а именно: поиск компетентных специалистов, создание команды по продвижению разработки на рынок, составление бизнес-плана коммерциализации и проработка вопросов финансирования коммерциализации.

3.1.4 Методы коммерциализации результатов научно - технического исследования

Коммерциализация научного проекта является сложным и энергоемким процессом, который связан с применением на практике результатов научного исследования и преследует цель: получить данные для развития дальнейших разработок, например: добиться финансирования или другой поддержки в виде оборудования и т. д. В данном случае будет использоваться такой метод коммерциализации научных разработок как инжиниринг.

Инжиниринг, как самостоятельный вид коммерческих операций, реализуется путем заключения договора на оптимизацию и проектирование процесса гидроочистки дистиллятного сырья, который направлен на усовершенствование уже имеющихся производственных процессов. Причем, университет или кафедра выступает в качестве стороны консультанта, а завод или фабрика – заказчиком.

3.2. Инициация проекта

Инициация нового проекта – это стадия проекта, на которой определяются цели и результаты, организационная структура, ограничения и допущения проекта, а также заинтересованные стороны, которые представлены в таблицах 11-14.

3.2.1 Цели и результаты проекта

Таблица 11 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Разработчики проекта (студенты, преподаватели)	1) Освоение принципиально новой (для разработчиков) области исследования, а именно разработки программы моделирования процесса ГО 2) Коммерческое продвижение проекта 3) Развитие и укрепление связей с отраслью промышленности (производственные компании, заводы) в области совместных научных разработок
Представители промышленности (компании, заводы, фабрики)	Получение проекта, способствующего оптимизации, энерго-и ресурсосбережению действующего производственного процесса
Научно – исследовательские институты	Продвижение статуса учебного заведения, повышение научного престижа
Конкурирующие научные объединения	Опасения в связи с появлением конкурентоспособного проекта

Таблица 12 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Создание математической модели процесса гидроочистки дистиллятного сырья, повышение эффективности процесса ГО с применением математической модели, для достижения требуемого уровня очистки топлива от серосодержащих соединений
Ожидаемые результаты проекта:	- исследование специфики формирования математической модели процесса ГО - изучение кинетических закономерностей протекания реакций гидрообессеривания на лабораторной каталитической установке

Ожидаемые результаты проекта:	<ul style="list-style-type: none"> - создание формализованной схемы превращений - совершенствование математической модели путем поиска оптимальных термодинамических параметров - апробация модели и проверка ее на адекватность расчетов
Критерии приемки результата проекта:	<ul style="list-style-type: none"> - адекватные и точные значения относительно действующего промышленного процесса - исключительность - доступность для пользователя
Требования к результату проекта:	<p>Требование:</p> <p>Результаты, полученные в ходе работы, должны максимально соответствовать критериям приемки результата проекта, а также необходима возможность проведения сравнительного анализа полученных термодинамических параметров в процессе ГО дистилятного сырья</p>

3.2.2 Организационная структура проекта

В данном подразделе определяется кто входит в рабочую группу проекта, какие роли имеет каждый участник, а также функции, выполняемые каждым из участников и их вклад в проект.

Организационная структура научного проекта представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час. (за 2 года)
1	Кривцова Надежда Игоревна, НИ ТПУ, ИШПР, ОХИ, доцент	Руководитель проекта	Координация проекта, проведение консультаций, внесение правок, совершенствование и утверждение проекта	150

2	Пучкова Анастасия Александровна, НИ ТПУ, ИШПР, ОХИ, магистрант, студентка группы 2KM81	Разработчик проекта	Сбор и анализ литературных данных, экспериментальные исследования, анализ результатов, оформление окончательного варианта проекта	3600
---	--	------------------------	---	------

3.2.3. Ограничения и допущения проекта

Все факторы, которые могут ограничить степень свободы участников команды, например: ограничения по бюджету, по срокам проекта или по человеческим ресурсам. Ограничения проекта – это так называемые «границы проекта» или совокупность правил управления проектом, которые не будут исполнены в данном проекте. В таблице 14 представлены ограничения и допущения проекта.

Таблица 14 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта. Источник финансирования	Материальная база научной группы (кафедры)
Сроки выполнения проекта:	09.2019 – 06.2020
• Дата утверждения плана управления проектом	10.02.2020
• Дата завершения проекта	1.06.2020

3.3 Планирование управления научно-техническим проектом

3.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Конкретизация укрупненной структуры работы называется иерархической структурой работы (ИСР), которая необходима для достижения целей проекта. В результате создания ИСР содержание всего проекта разбивается на более мелкие операции, структурируется и определяется содержание.

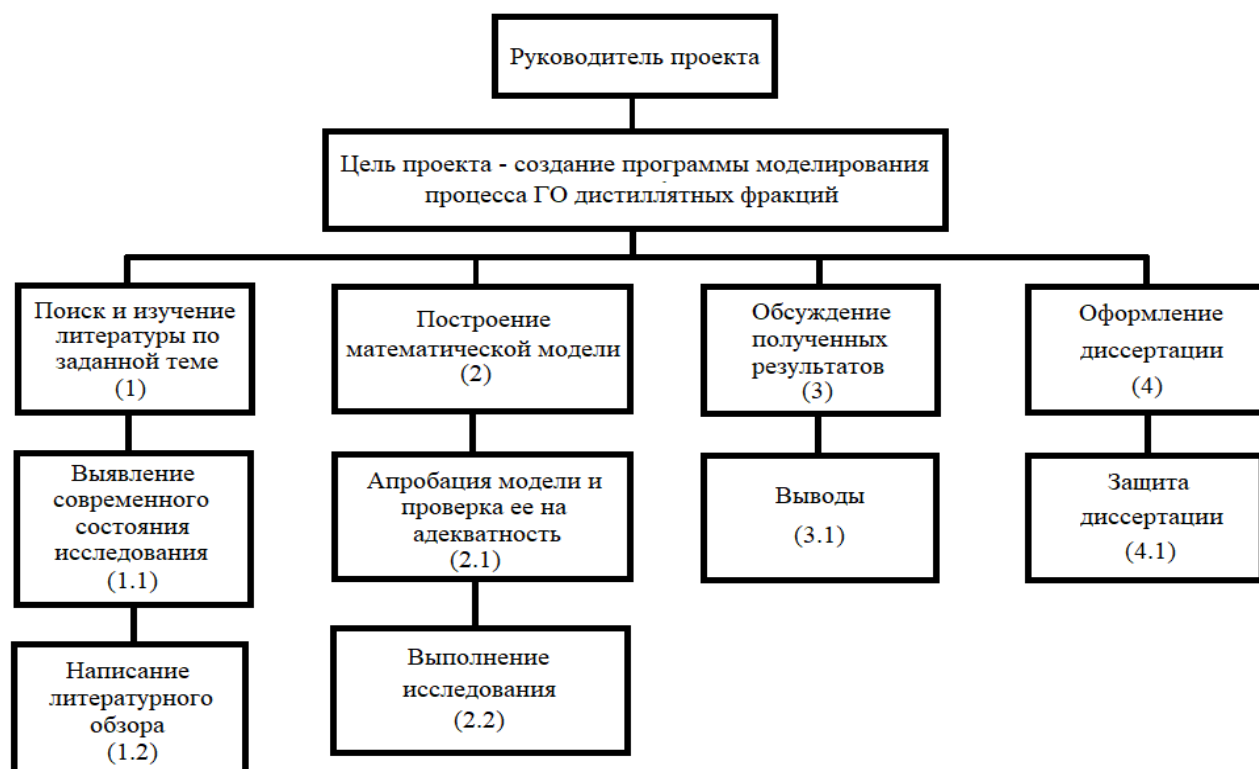


Рисунок 25 – ИСР по проекту

3.3.2 Контрольные события проекта

В данном подразделе определяются ключевые события разрабатываемого проекта (таблица 15), а также сроки и результаты, которых необходимо добиться в поставленные даты.

Таблица 15 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Выбор процесса и определение направление исследования	09.2019	Бланк задания
2	Изучение современного состояния исследования	02.2020 - 04.2020	Публикации, литература

3	Разработка математической модели	04.2020	Экспериментальная часть диссертации
4	Проведение исследования	04.2020	Экспериментальная часть диссертации
5	Обсуждение полученных результатов	05.2020	Экспериментальная часть диссертации
6	Оформление диссертации	05.2020 - 06.2020	Магистерская диссертация
7	Защита диссертации	06.2020	Диплом магистра

3.3.3 План проекта

При разработке проекта построим календарный план проекта (таблица 16). Код работы берется по ИСР, представленной на рисунке 25. Поскольку проект относится к простым и выполняется последовательно, то был выбран линейный график планирования. Тип столбчатых гистограмм, который используется для иллюстрации календарного плана проекта называется диаграммой Ганта. На основе календарного плана проекта, представленного в таблице 16, строится календарный план-график (таблица 17).

Таблица 16 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Поиск и изучение литературы по заданной теме	29	10.02.2020	10.03.2020	Пучкова А.А.
1.1	Выявление современного состояния исследования	22	10.03.2020	01.04.2020	Пучкова А.А.

1.2	Написание литературного обзора	9	01.04.2020	10.04.2020	Пучкова А.А.
2	Построение математической модели	5	10.04.2020	15.04.2020	Пучкова А.А.
2.1	Апробация модели и проверка ее на адекватность	5	15.04.2020	20.04.2020	Пучкова А.А.
2.2	Выполнение исследования	10	20.04.2020	30.04.2020	Пучкова А.А.
3	Обсуждение полученных результатов	8	01.05.2020	09.05.2020	Кривцова Н.И. Пучкова А.А.
3.1	Выводы	8	09.05.2020	17.05.2020	Кривцова Н.И. Пучкова А.А.
4	Оформление диссертации	21	17.05.2020	07.06.2020	Пучкова А.А.
4.1	Защита диссертации	1	16.06.2020	16.06.2020	Пучкова А.А.
ИТОГО:		118			

Таблица 17 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы	Вид работ	Исполнители	Длительность, дни	Продолжительность выполнения работ														
				февр.			март			апрель			май			июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Поиск и изучение литературы по заданной теме	Пучкова А.А.	29															
1.1	Выявление современного состояния исследования	Пучкова А.А.	22															
1.2	Написание литературного обзора	Пучкова А.А.	9															
2	Построение математической модели	Пучкова А.А.	5															
2.1	Апробация модели и проверка ее на адекватность	Пучкова А.А.	5															
2.2	Выполнение исследования	Пучкова А.А.	10															
3	Обсуждение полученных результатов	Кривцова Н.И. Пучкова А.А.	8															
3.1	Выводы	Кривцова Н.И. Пучкова А.А.	8															
4	Оформление диссертации	Пучкова А.А.	21															
4.1	Защита диссертации	Пучкова А.А.	1															

3.4 Бюджет научного исследования

При планировании проекта, необходимо подробно и точно отобразить все виды расходов, которые могут возникнуть при выполнении научного исследования, а именно затраты необходимые для комфортной и эффективной работы. В таблице 18 представлены планируемые затраты, которые сгруппированы по статьям.

Таблица 18 – Группировка затрат по статьям

Статьи	Сумма, руб.
1. Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	1040,3
2. Оборудование для научных работ и ПО	33 698,0
3. Основная заработная плата	145 316,4
4. Дополнительная заработная плата	21 797,5
5. Отчисления на социальные нужды	23 056,5
6. Научные и производственные командировки	16 711,38
7. Итого плановая себестоимость	241 620,08

1. Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты

Данная статья включает в себя материальные затраты, которые необходимы при выполнении проекта. Причем количество требуемых материальных потребностей определяется по нормам расхода, а расчет стоимости проводится по действующим прейскурантам или договорным ценам. Транспортно-заготовительные расходы (3% от цены) также включают в стоимость материальных ценностей. Данные затраты приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Кол-во	Цена, руб	Сумма, руб
Тетрадь для записей	2	20,0	40,0
Ручка	5	20,0	100,0
Карандаш	2	10,0	20,0
Картридж для принтера	1	550,0	550,0
Бумага (1 лист)	500	0,6	300,0
ВСЕГО:			1010,0
Транспортно-заготовительные расходы (3%):			30,3
ИТОГО по статье:			1040,3

2. Оборудование для научных работ и ПО

Затраты на приобретение программного обеспечения и специального оборудования представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет затрат на приобретение «Спецоборудования и программного обеспечения»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Персональный компьютер (ПК)	1	19,698	19,698
2	Принтер	1	7,0	7,0
3	ПО Microsoft office	1	1,7	1,7
4	ПО Turbo Pascal	1	5,3	5,3
ИТОГО:				33,698

3. Основная заработная плата

Данная статья включает в себя основную и дополнительную заработную плату членов команды (включая премии и доплаты), напрямую занятых выполнением проекта.

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (2)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата работника рассчитывается по формуле (2):

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_{раб}, \quad (3)$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб;

$Т_{раб}$ – продолжительность работ, раб. дни.

Среднедневная заработная плата ($З_{дн}$) рассчитывается как:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}}, \quad (4)$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течении года: при отпуске в 48 раб. дней $М=10,4$ месяца, 6 – дневная раб. неделя; при отпуске в 24 раб. дней $М=11,2$ месяца, 5 – дневная раб. неделя;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дни (таблица 21).

Таблица 21– Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	104
- праздничные дни	14	14

Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	12	0
Действительный годовой фонд рабочего времени (F_d)	187	199

Месячный должностной оклад работника, рассчитывается по формуле:

$$З_m = З_б \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (5)$$

где $З_б$ – базовый оклад работника, руб;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент;

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент, для Томска $k_p=1,3$.

По формулам (2) - (5) рассчитаем основную заработную плату ($З_{осн}$) (таблица 22):

Таблица 22 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_б$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб.	$З_{дн}$, руб.	$T_{р. раб. дн.}$	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	33 664	-	-	1,3	43 763,2	2433,9	36	87 620,4
Магистрант	13 300	-	-	1,3	17 290	961,6	60	57 696
ИТОГО:								145 316,4

4. Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата работников, участвующих в проекте, рассчитывается как 10-15% от основной заработной платы:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}}, \quad (6)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Расчет дополнительной и основной заработной платы представлен в таблице 23:

Таблица 23 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная, руб	87 620,4	57 696
Дополнительная (15%), руб	13 143,06	8 654,4
ИТОГО:	100 763,46	66 350,4

5. Отчисления на социальные нужды

В данном подразделе рассмотрим отчисления на социальные нужды, а именно отчисления во внебюджетные фонды ($C_{\text{внеб}}$).

$$C_{\text{внеб}} = (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{внеб}}, \quad (7)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного социального страхования и фонд обязательного медицинского страхования).

$$C_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 100\,763,46 = 23\,056,5 \text{ руб.}$$

6. Научные и производственные командировки

В данной статье рассмотрим расходы по командировкам участников проекта, которые составляют 10% от суммы $(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$, таким образом получаем:

$$C_{\text{внеб}} = 0,1 \cdot 167\,113,86 = 16\,711,38 \text{ руб.}$$

3.5 Организационная структура проекта

Проектная организационная структура, которая представлена на рисунке 26, является самой соответствующей организационной структурой для данной работы.

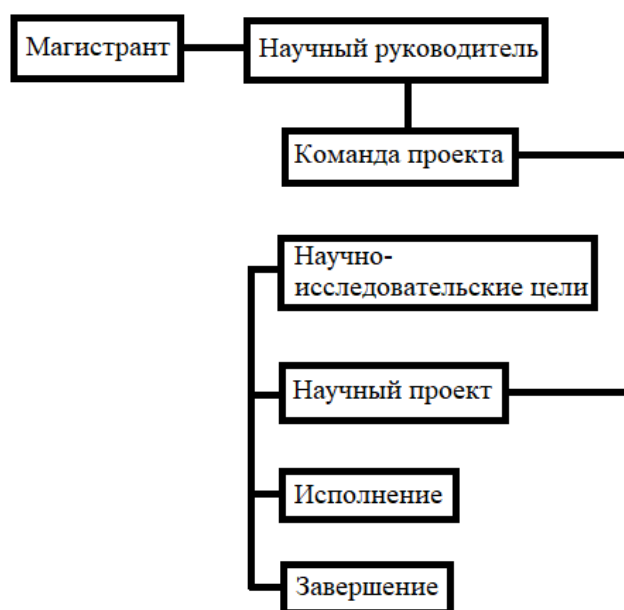


Рисунок 26 – Проектная организационная структура проекта

3.6 Матрица ответственности

Матрица ответственности – это степень участия в проекте, которая необходима для распределения ответственности между участниками проекта. Степень участия может характеризоваться как: ответственный (О), исполнитель (И), утверждающее лицо (У) и согласующее лицо (С). Сформированная матрица ответственности представлена в таблице 24.

Таблица 24 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель проекта	Магистрант
1. Формирование технического задания	И	О
2. Изучение литературы по теме	С	И
3. Проведение расчетов	С	И
4. Выполнение проекта	С	И
5. Обработка и обсуждение полученных результатов	С	И
6. Оформление диссертации	С	И

3.7 Оценка сравнительной эффективности исследования

Оценка эффективности заключается в расчете интегрального показателя эффективности научного исследования, который связан с определением финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (8)$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить как:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (9)$$

где I_m^a – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 25 – Сравнительная характеристика вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэфф. параметра	Текущий проект	Аналог текущего проекта
1. Адекватность получаемых результатов	0,3	5	4
2. Простота эксплуатации программы	0,1	3	4
3. Низкая погрешность результатов	0,2	4	4
4. Высокая распространенность к другим установкам	0,1	3	3
5. Надежность	0,1	4	3
6. Энергосбережение и ресурсосбережение	0,2	5	4
ИТОГО:	1	24	22

$$I_m^p = 5 * 0,3 + 3 * 0,1 + 4 * 0,2 + 3 * 0,1 + 4 * 0,1 + 5 * 0,2 = 4,3;$$

$$I_m^a = 4 * 0,3 + 4 * 0,1 + 4 * 0,2 + 3 * 0,1 + 3 * 0,1 + 4 * 0,2 = 3,8;$$

Сравнительная эффективность проекта рассчитывается как:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{фин}}^p}{I_{\text{фин}}^a} = \frac{4,3}{3,8} = 1,13 \quad (10)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта.

Сравнение значений эффективности проектов показало, что текущий вариант решения поставленной в диссертации технической задачи с точки зрения финансовой и ресурсоэффективности является самой целесообразной.

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Цель данной магистерской диссертации - это разработка программы для математического моделирования процесса гидроочистки дистиллятного сырья. Так как гидроочистка является самым популярным процессом нефтеперерабатывающей промышленности и его роль на НПЗ только возрастает, то разрабатываемые программы имеют высокую актуальность. Они необходимы для оптимизации процесса гидроочистки, повышения его эффективности и как следствие, достижение требуемого уровня очистки топлива от серосодержащих соединений.

Данный научный проект проводился на кафедре НИ ТПУ «Химической технологии топлива и химической кибернетики». Магистерская диссертация выполнялась на ПК в аудитории 135, которая расположена во 2-ом учебном корпусе НИ ТПУ. Проводилось математическое моделирование процесса гидроочистки дистиллятного сырья, а именно расчет и анализ термодинамических параметров реакций превращения сернистых соединений.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Система управления охраной труда даёт предприятию возможность разработать свою концепцию по охране труда, установить цели охраны труда, организовать трудовые процессы с принятием необходимых мер повышения результативности охраны труда, а также создать социально-ориентированное производство, исключить ущерб в результате аварий, инцидентов и несчастных случаев [46].

При выполнении данного проекта необходимо следовать требованиям Федерального закона Российской Федерации N 426-ФЗ [47] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [48].

Рабочая зона – аудитория, которая полностью оборудована: системами отопления, водоснабжения, вентиляции и кондиционированием воздуха, а

также имеется комбинированное освещение, как совокупность искусственного света ламп и естественного солнечного света. Рабочее место в аудитории 135 представлено столом, на котором расположен ПК и офисным стулом. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером, соответствует требованиям [48].

4.2 Производственная безопасность

4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования

При работе с персональной электронно-вычислительной машиной (ПЭВМ) оценивают организацию рабочего места, а именно освещение, микроклимат, электромагнитные поля, уровень шума, вибрации и т.д. В [48,49,50] описывается охрана труда при работе за ПК.

В таблице 26 представлены опасные и вредные факторы, которые возможны при проведении научного исследования.

Таблица 26 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы		Нормативные документы
	Разра- ботка	Исследо- вание	
1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий		+	ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [52].

2. Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [48].
3. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания	+	+	СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 [53].
4. Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса	+		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [48].
5. Опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой		+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [54].
6. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [55].

4.2.1.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Прохождение электрического тока через тело человека обычно сопровождается электрическим ожогом тканей или нарушением функций внутренних органов человека. Возникает поражение при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники тока или напряжения,

а сила и тяжесть поражения зависит от: времени воздействия, мощности разряда, характера тока и биологических параметров человека.

Причинами электрической опасности могут выступать:

- отсутствие заземления;
- статическое напряжение;
- отсутствие или нарушение изоляции проводов, находящихся под напряжением;
- электрические замыкания.

Результатом прохождения электрического тока через тело человека выступает: ожог в месте контакта, ожог или обугливание тканей на пути прохождения тока, повреждение мышц и нервов, остановка кровообращения, острая дыхательная и почечная недостаточность, а также вывихи суставов и переломы костей.

4.2.1.2 Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона

Работа на ПК вызывает значительное напряжение функций зрительного аппарата, а одним из самых вредных факторов является электромагнитное поле, которое приводит к расстройствам нервной, иммунной и эндокринной системы человека при превышении допустимых уровней. Причем, сердечно-сосудистая система, головной мозг, зрение, иммунная и половая системы человека наиболее подвержены влиянию электромагнитного излучения.

Также не стоит забывать, что от экрана ПК исходит мягкое рентгеновское излучение. Мощность которого в соответствии с [48] в любой точке на расстоянии от экрана 0,05 м не должна превышать 1 мкЗв/ч (100 мкР/ч). Согласно [50] допустимые уровни ЭМП в диапазоне частот 5Гц-2Гц, создаваемых ПЭВМ на рабочем месте пользователя составляет 25 В/м, плотность магнитного потока – 250 нТл.

4.2.1.3 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания

Экологическая ситуация далека от идеала и поддерживать чистый воздух в помещении важная и одновременно сложная задача, потому что загрязняющих факторов достаточно много. В закрытых помещениях воздух застаивается, из-за чего повышается концентрация вредных для здоровья веществ (например, углекислого газа), а также размножаются опасные микроорганизмы и бактерии. Основным источником микробов является сам человек, также, когда человек дышит, он естественным образом выделяет углекислый газ, увеличение уровня которого вызывает головные боли, общую слабость, снижает концентрацию внимания и общую работоспособность.

Отсутствие системы вентиляции также приводит к появлению аллергии, кожных дерматитов, хронического ринита и бронхиальной астмы. Источниками аллергии выступают пыль, офисная техника, бумага и т.д.

Согласно [48] рабочее место, оборудованное компьютером должно размещаться в изолированных кабинках с системами отопления, кондиционирования воздуха или продуктивной приточно-вытяжной вентиляцией, для того чтобы поддерживать заданные показатели микроклимата.

В аудитории 135, где проводилось научное исследование, отсутствует кондиционер, в связи с чем, в аудитории летом будет очень душно.

4.2.1.4 Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса

При проведении научно-исследовательской деятельности необходимо соблюдать требования [48] СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 – Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы. Так, продолжительность работы за компьютером для студентов не более 3-х академических часов с суммарным временем непосредственной работы не больше 50% от общего времени учебного занятия.

Работа пользователя ПК относится к категории тяжести работ 1а (легкая), которая выполняется в сидячем положении, иллюстрируется незначительным физическим напряжением и характеризуется напряженностью энергозатрат до 120 ккал/час.

4.2.1.5 Опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой

Согласно требованиям и нормам представленным [48,53,54], в помещениях, оборудованных компьютерами, должно быть организовано как естественное, так и искусственное освещение, которое называется комбинированным. Солнечное освещение обеспечивается через оконные проемы с коэффициентом естественного освещения не ниже 1,5% на территории нашей страны. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана, а освещенность поверхности экрана не более 300 лк.

Недостаточное освещение пагубно влияет на длительность работы, повышает общую утомляемость и способствует снижению зрительной функции, а именно: развитию близорукости. Излишняя же освещенность провоцирует перевозбуждение нервной системы и в целом уменьшение работоспособности. Влияние чрезмерной яркости может вызвать катаракту сетчатки глаз, фото ожог кожи и глаз, а также другие нарушения.

Нормируемыми параметрами для систем искусственного освещения аудитории образовательного учреждения являются: величина минимальной освещенности $L_{\text{мин}} = 1.3$ лк, показатель освещенности P не более 40 % и коэффициент пульсации K_n не более 10 % [54].

Потому как, для научного исследования, проводимого на ПК, требуются: высокая концентрация внимания, то повышены требования к применяемым лампам искусственного излучения. В аудитории 135, 2-го корпуса НИ ТПУ, с этой целью применяются лампы ЛДЦ, ЛД, ЛХБ.

4.2.1.6 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего

Микроклимат или метеорологические условия рабочей зоны тоже оказывают отрицательный эффект на характер работы, общее состояние человека и процесс теплообмена. Так высокая температура окружающего воздуха приводит к перегреву организма, тепловому удару или профзаболеванию. Низкая же температура воздуха может привести к переохлаждению, обморожению или вызвать простуду.

Влажность воздуха тоже важный параметр микроклимата, который влияет на терморегуляцию человеческого организма. Высокая влажность при низкой температуре воздуха вызывает переохлаждение организма, а при высокой температуре способствует перегреванию. Низкая влажность приводит к пересыханию слизистых оболочек дыхательных путей.

Поэтому на рабочих местах пользователей ПК должны обеспечиваться оптимальные величины показателей микроклимата, которые представлены в документе [55]. В таблице 27 представлены оптимальные характеристики микроклимата.

Таблица 27 – Оптимальные показатели микроклимата [56]

Сезон	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый с среднесуточной температурой воздуха выше 10 °С	21-25	40-60	0,1
Холодный с среднесуточной температурой воздуха менее 10 °С	22-24	40-60	0,1

В аудитории 135, где проводилось исследование, нет термометра в связи с тем, температура воздуха не измеряется. Но, так как имеются пластиковые окна, то в холодное время года воздух достаточно сухой, а летом просто душно.

4.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов

4.2.2.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

В соответствии с требованиями нормативных документов [57] для обеспечения защиты от поражения электрическим током необходимо соблюдение основных мер безопасности:

- недоступность токоведущих частей;
- надлежащая или повышенная изоляция;
- надежная и быстродействующая сигнализация с автоматическим отключением;
- применение пониженных напряжений;

Для организации защиты от поражения электрическим током при контакте с металлическими нетоковедущими частями, которые могут быть под напряжением в результате повреждения изоляции, необходимо:

- контролировать изоляцию;
- проводить электрическое разделение сетей;
- создать систему защитных проводов;
- осуществлять заземление.

4.2.2.2 Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона

Одним из наиболее эффективных способов защиты от излучений оптического диапазона и электромагнитных полей компьютера является применение специальных приборов, которые позволяют нейтрализовать излучение и минимизировать его негативное воздействие на человека. Такими приборами являются приэкранные защитные фильтры мониторов, нейтрализаторы электрических полей и приборы, принцип действия которых основан на наведении противо-ЭДС.

У нас применяются самые простые способы защиты - это: максимальное сокращение времени пребывания в зоне действия электромагнитного излучения и увеличение расстояния между рабочими столами с видеомониторами. Расстояние в направлении тыла поверхности одного монитора и экрана другого составляет не менее 2 метров, а расстояние между боковыми поверхностями мониторов – не менее 1,2 метра.

4.2.2.3 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания

Основным принципом для предотвращения возникновения различных видов аллергии является необходимость совершения перерывов длительностью 15 – 20 минут с выходом из кабинета и обязательное проветривание помещения, которые необходимо совершать после каждого академического часа занятий с ПЭВМ. Также если на рабочем месте установлены кондиционеры, то необходимо производить чистку воздуха кондиционером.

4.2.2.4 Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса

Для снижения напряженности рабочего процесса необходим сбалансированный режим работы с ПК. Причем, расстояние от экрана монитора до глаз человека должно составлять не менее 50 см. Также необходима регулировка яркости и контрастности экрана компьютера.

Согласно [58], максимальное время работы за компьютером не должно превышать 6 часов за смену, т.е. суммарно не более 3 академических часов.

Для предотвращения переутомления или развития зрительного дискомфорта врачи рекомендуют каждые 20-25 минут работы проводить самостоятельные упражнения для глаз.

4.2.2.5 Опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой

Для обеспечения нормативных значений освещенности в помещении проводится чистка стекол оконных проемов и светильников, не реже двух раз в год, а также своевременная замена перегоревших ламп.

Также, для снижения нагрузки на органы зрения человека, рекомендуется использование ламп с меньшим коэффициентом пульсации K_n , например, вместо люминесцентных ламп использовать галогенные или светодиодные.

4.2.2.6 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего

Для того чтобы поддерживать необходимые показатели микроклимата в закрытых помещениях и избежать перегревание или переохлаждение организма обычно устанавливают кондиционеры, которые поддерживают заданную температуру и скорость движения воздуха. Причем, полезно также сделать перерыв в работе после каждого академического часа и выйти на свежий воздух оставив помещение на проветривание на 15-20 минут.

4.3 Экологическая безопасность

4.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Объект исследования данной магистерской диссертации сам по себе не несёт угрозу окружающей среде. Но компьютер и его комплектующие, которые используются в качестве оборудования при проведении исследования, при их неправильной утилизации оказывают серьезное негативное воздействие на окружающую среду.

4.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

В настоящее время существует глобальная проблема утилизации компьютерной техники, а усугубляет эту проблему быстрое моральное устаревание электронной техники и агрессивная рекламная компания фирм-производителей.

Заводы по изготовлению электронной техники по сравнению с предприятиями других отраслей промышленности дают относительно небольшое количество выбросов в окружающую среду.

Большое количество процессов, операций и материалов, используемые при изготовлении электронных устройств, являются источниками огромного количества веществ, имеющих неблагоприятное воздействие на человека и биосферу.

Отрицательное воздействие на окружающую среду происходит на протяжении всего жизненного цикла изделия, от приобретения сырья и изготовления изделия до его утилизации по окончании срока полезного применения [59]. Выбрасывание не переработанной компьютерной техники ведет к загрязнению почвы, а при соединении с некоторыми веществами, под воздействием тепла и водной коррозии некоторые составляющие компьютеров превращаются в токсичные вещества, которые загрязняют почву и атмосферу.

В соответствии с постановлениями Правительства РФ N 524 [60] и N 818 [61] можно выделить список оборудования, которые нельзя просто выбросить как твердые коммунальные отходы:

- медицинские приборы;
- все виды аккумуляторов;
- бытовая техника;
- люминесцентные лампы;
- компьютеры, мониторы, сканеры, ксероксы, принтеры и даже картриджи для принтеров.

Компьютерные устройства содержат бромированные огнестойкие добавки и другие токсины. Помимо этого, тысячи компонентов, входящих в компьютерные устройства, содержат бром и хлор. Кроме того, целый ряд мониторов оснащены светодиодной подсветкой, в которой используется ртуть, а

их стекло содержит мышьяк. Данные компоненты считаются не опасными в процессе эксплуатации компьютерной техники [62].

Необходимо учитывать, что в отходы поступает, как правило, огромное количество чрезвычайно дефицитных материалов (стали, пластика, цветных и драгоценных металлов, стекла, древесины и др.), которые просто обязаны быть возвращены в процесс производства. Многие ценные компоненты электронных изделий (золото, серебро, редкие металлы), содержащиеся в печатных платах, аккумуляторах, кабелях, экранных мониторах, ртутных выключателях и пр., также выключаются из производственного оборота [63].

Из-за содержания драгметаллов, токсичных и прочих опасных для экологии и здоровья человека веществ необходимо следовать порядку утилизации компьютеров и оргтехники, который производится с учетом двух Федеральных законов Российской Федерации N 89-ФЗ [64] и N 41-ФЗ [65].

Так, правильно организованный процесс переработки отходов электронной промышленности принесет не только значительные экологические, но и экономические выгоды. Процесс переработки должен осуществляться путем рационального разделения отходов на отдельные однородные компоненты, их повторное использование или создание так называемой зеленой электроники, в которой токсичные для природы материалы заменяются нетоксичными и легко разлагающимися составляющими.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования

Причиной чрезвычайной ситуации (ЧС) в процессе выполнения данного научного исследования может стать перегрев компьютерной техники и как следствие ее возгорание, которое может вызвать отравление вредными веществами, выделяемыми в процессе горения или тления.

Обстоятельства, которые приводят к возникновению пожара:

- игнорирование правил пожарной безопасности;

- неисправность электрической проводки и электроприборов;
- неосторожное обращение с огнем;
- курение в неположенном месте;
- неправильное хранение макулатуры.

В [51] описаны требования безопасности при эксплуатации электрооборудования, в соответствии с которым не электротехническому персоналу присваивается группа I по электробезопасности.

В соответствии со ст. 26 [52] учебная аудитория, которая оборудована компьютером, относится к категории «В». Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты.

Горючими материалами в помещении являются: строительные материалы для отделки помещений, перегородки, двери, полы, изоляция кабелей и другие. Источниками возгорания, в помещении, могут служить электрические схемы от ЭВМ, различные электроприборы (принтер, сканер, факс и т.д.), устройства электропитания, кондиционеры, где в результате перегрева, могут возникнуть электрические искры, способные вызвать загорания.

4.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и порядок действия в случае возникновения ЧС

В соответствии с [56], для ликвидации очагов возможных возгораний необходимо применение первичных средств пожаротушения.

Для предотвращения ЧС аудитория оборудована таким первичным средством пожаротушения, как: огнетушитель порошковый ОП-10, который расположен на подвесном, настенном кронштейне, на видном месте, с обеспечением легкой доступности и окрашен в красный цвет. Также имеются средства индивидуальной защиты аптечки, а соседняя лаборатория оборудована таким противопожарным инвентарем, как асбестовое полотно.

На стене висит план эвакуации в случае возникновения пожара, есть противопожарная сигнализация, установленная на потолке.

Согласно Правилам пожарной безопасности все сотрудники и учащиеся образовательного учреждения допускаются к работе только после прохождения противопожарного инструктажа, который в обязательном порядке сопровождается практическим показом имеющихся средств пожаротушения.

В любых аварийных ситуациях, связанных с компьютерной техникой необходимо:

- при каких-либо неполадках незамедлительно отсоединить компьютерную технику от сети;
- при обнаружения оголенного провода незамедлительно оповестить всех сотрудников и ограничить контакт с оголенным проводом;
- при возникновении пожара принять меры по его ликвидации с использованием огнетушителей и других средств пожаротушения;
- при поражении человека электрическим током оказать первую помощь и вызвать скорую медицинскую помощь.

Меры по предотвращению возникновения ЧС, проводимые с целью обеспечения безопасности работы:

- оборудование аудитории средствами противопожарной защиты, например, автоматической сигнализации;
- проведение профилактических мероприятий или инструктажей, направленных на повышение сознательности сотрудников, на их соблюдение требований пожарной безопасности и пр.;
- запрет на: работу с неисправной компьютерной техникой и проведение самостоятельного ремонта оборудования;
- наличие подъездов пожарной техники;
- выполнение защиты зданий, сооружений, аппаратов, оборудования и трубопроводов от вторичных проявлений молний и статического электричества;
- предотвращение взрывов в помещениях с нормальной средой, вследствие проникновения горючих газов и паров из соседней

лаборатории, обеспечивается приточными и вытяжными вентиляционными системами.

В аудитории, оборудованной компьютерами и в непосредственной близости от них, запрещено: использовать нагревательные приборы и хранить горючие материалы, а также загромождать проход и доступ к средствам пожаротушения.

Курение разрешено только в специально отведенных местах на открытом воздухе или в изолированных помещениях, которые оборудованы системами вентиляции.

Обязанности сотрудника при обнаружении пожара, задымления или других признаков пожара [66]:

- немедленно сообщить о пожаре в пожарную часть по телефону 01, либо мобильной связью 101 или 112;
- принять возможные меры к спасению людей, имущества и ликвидации пожара;
- предупредить преподавателя, который должен поставить в известность других сотрудников, принять меры к их эвакуации и ликвидации пожара.

В разделе «Социальная ответственность» были проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования и могут подействовать на результат выполняемой работы. Также рассмотрены мероприятия по обеспечению производственной безопасности в случае чрезвычайной ситуации и влияние объекта исследования на окружающую среду.

ВЫВОДЫ:

1. Проведен процесс гидроочистки на лабораторной каталитической установке, в результате чего установлено, что с повышением температуры от 340 до 380°C происходит снижение содержания ароматических соединений и увеличение интенсивности реакций гидрообессеривания, степень гидроочистки увеличилась с 91.3% до 93.2%. При последующем увеличении температуры до 400°C равновесие реакций гидрирования ароматических углеводородов смещается в сторону исходных компонентов, таким образом существует предел температуры, выше которого поднимать температуру не имеет смысла.

2. Установлено, что при увеличении ОСПС наблюдается снижение доли ароматических соединений, степень удаления серы из исходного сырья уменьшается с 92.2% до 91.7%. Снижение степени удаления сернистых соединений из атмосферного газойля с увеличением ОСПС объясняется уменьшением времени контакта сырья с катализатором и недостаточно полным протеканием реакций гидрирования сернистых соединений.

3. Составлена формализованная схема превращений, которая учитывает основные и побочные реакции, протекающие в процессе гидроочистки дистилятного сырья.

На основе формализованной схемы превращений составлена математическая модель процесса и получены значения констант скоростей. Так, согласно полученным константам скорости вероятность гидрогенолиза сернистых соединений уменьшается в ряду: сульфиды > тиофены > бензотиофены > дибензотиофены, что соответствует увеличению их стабильности и подтверждается литературными данными.

4. Показано, что разработанная математическая модель является адекватной и степень погрешности не превышает 5%.

5. С использованием представленной математической модели проведен расчет изменения концентрации компонентов, участвующих в процессе гидроочистки.

6. В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был выполнен расчет человеческих и материальных резервов, которые необходимы для успешного проведения научного проекта, а также предложены способы оптимизации трудового процесса.

7. В разделе «Социальная ответственность» были проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут подействовать на результат выполняемой работы.

Список публикаций студента

1. Krivtcova N. I., Frantsina E. V., Beshagina E. V., Puchkova A. A., Chiblis N. V., Kotkova E. P. Hydrotreating of light atmospheric gas oil and its mixture with gasoline // *Petroleum and Coal*. – 2019. – Vol. 61. – №6. – P. 1568-1574.

2. Пучкова А. А. Математическое моделирование процесса гидроочистки атмосферного газойля / А. А. Пучкова; научный руководитель Н. И. Кривцова // *Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л. П. Кулева и Н. М. Кижнера, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А. Г. Стромберга, 21 – 24 сентября 2020 г., г. Томск*. –Томск: Изд-во ТПУ, 2020.

Список использованных источников

1. Справочник нефтепереработчика / под ред. Ластовкина Г. А., Радченко Е. Д., Рудина М. Г. – Ленинград: Химия, 1986. – 649 с.
2. Lesueur D. The colloidal structure of bitumen: consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification // Adv. Colloid Interface Sci. – 2009. – Vol. 145. – №1. – P. 42-82.
3. Капустин В. М., Чернышева Е. А. Основные каталитические процессы переработки нефти. – М.: Калвис, 2006. – 128 с.
4. Мейерс Р. А. (ред.) Основные процессы нефтепереработки. Справочник: пер. с англ. 3-го изд. / Р. А. Мейерс [и др.]; под ред. О. Ф. Глаголевой, О. П. Лыкова. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 944 с.
5. Баннов П. Г. Процессы переработки нефти. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2001. – 415 с.
6. Каталитическая гидропереработка тяжелого нефтяного сырья / А. Г. Окунев [и др.] // Успехи химии. – 2015. – Т. 84. – № 9. – С. 981-999.
7. Kapustin V. M., Chernysheva E. A. The development of petroleum refining and petroleum chemistry in Russia // Petroleum Chemistry. – 2010. – Vol. 50. – P. 247-254.
8. Производство нефтепродуктов [Электронный ресурс] / Министерство Энергетики Российской Федерации. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1213>, свободный.
9. Рынок дизельного топлива в России. Текущая ситуация и прогноз 2020-2024 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alto-group.ru/otchet/rossija/304-rynok-dizelnogo-topliva-tekushhaya-situaciya-i-prognoz-2014-2018-gg.html>, свободный.
10. Почему россияне отказываются от дизельных автомобилей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2019/06/01/pochemu-rossiiane-otkazyvaiutsia-ot-dizelnyh-avtomobilej.html>, свободный.

11. Газпром Нефть «Нефтепереработка». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gazprom-neft.ru/company/business/oil-refining/>, свободный.
12. Stanislaus A., Marafi A., Rana M. S. Recent advances in the science and technology of ultra low sulfur diesel (ULSD) production // Catal. Today. – 2010. – Vol. 153. – № 1. – P. 1-68.
13. Бударина Н. А., Прокопович Р. С. Перспективы нефтеперерабатывающей промышленности России // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – Т. 1. – № 6. – С. 110-114.
14. Ахметов С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа. - Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.
15. Кожемякин М. Ю., Черкасова Е. И. Гидроочистка дизельного топлива // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 23. – С. 28-30.
16. Silva J. I. S. and Secchi A. R. Model predictive control for production of ultra-low sulfur diesel in a hydrotreating process // Braz. J. Chem. Eng. – 2019. – Vol. 36. – № 1. – P. 439-452.
17. Николаев А. В., Карцова Л. А., Даванков В. А. Газохроматографическое определение серосодержащих компонентов дизельного топлива с использованием твердофазной экстракции и фракционного элюирования // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2011. – Т. 11. – С. 459-466.
18. Попов С. Н. Химия нефти и газа. – Львов: Изд-во Львовского университета, 1960. – 376 с.
19. Солодова Н. Л., Хамзин Е. Е., Емельянычева Е. А. Получение низкозастывающих малосернистых дизельных топлив // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 24. – С. 214-217.
20. Солодова Н. Л., Терентьева Н. А. Гидроочистка топлив: учебно-методическое пособие Казанский государственный университет. – Казань: Изд-во КГТУ, 2008. – 103 с.

21. Филимонова Е. И. Основы технологии переработки нефти. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2010. – 171 с.
22. Эрх В. Н., Расина М. Г., Рудин М. Г. Химия и технология нефти – Санкт-Петербург: Изд-во Химия, 2-ое издание, 1977. – 424 с.
23. Аспель Н. Б., Демкина Г. Г. Гидроочистка моторных топлив – Ленинград: Химия, 1977. – 160 с.
24. Пимерзин А. А., Томина Н. Н., Максимов Н. М., Еремина Ю. В., Антонов С. А. Гидрогенизационные процессы нефтепереработки и физико-химические методы анализа получаемых продуктов: учебное пособие. – Самара: Изд-во СГТУ, 2012. – 167 с.
25. Магеррамов А. М., Ахмедова Р. А., Ахмедова Н. Ф. Нефтехимия и нефтепереработка. – Баку: Изд-во Баку университеты, 2009. – 660 с.
26. Климов О. В., Пашигрева А. В., Бухтиярова Г. А., Кашкин В. Н., Носков А. С., Полункин Я. М. Используемые на российских нефтеперерабатывающих заводах современные катализаторы глубокой гидроочистки для получения малосернистого дизельного топлива по стандартам Евро-3 и Евро-4 // Катализ в промышленности. – 2008. – Спецвыпуск. – С. 6-13.
27. Takashi Fujikawa, Hiroshi Kimura, Kazuyuki Kiriyaama, Kazuhiko Nagiawara. Development of ultra-deep HDS catalyst for production of clean diesel fuels// Catalysis Today.- 2006., № 111.- P.188–193.
28. Власов В. Г. Гидроочистка, гидрообессеривание и гидрокрекинг нефтяного сырья: учеб. - метод. пособие. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2010. – 139 с.
29. Нефедоров Б. К., Раченко Е. Д., Алиев Р. Р. Катализаторы процессов углубленной переработки нефти. – М.: Химия, 1992. – 277 с.
30. Сомов В. Е., Садчиков И. А., Шершун В. Г., Кореляков Л. В. Стратегические приоритеты российских нефтеперерабатывающих предприятий. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2002. – 122 с.
31. ООО "Кинеп". Регламент установки гидроочистки дизельного топлива Л-24-7. – Кириши, 2012. – 50 с.

32. Капустин В. М., Гуреев А. А. Технология переработки нефти. – Москва: Изд-во Колос, 2007. – ч. 2. – 334 с.
33. Баннов П.Г. Технология переработки нефти. – Москва: Изд-во ЦНИИТЭнефтехим, 2000. – 224 с.
34. Горбач Л. А. Состояние и тенденции развития нефтеперерабатывающей промышленности России на современном этапе // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 19. – С. 312-314.
35. Халикова Д. А., Меньшикова Т. С. Сравнение ключевых показателей дизельных топлив зарубежного и отечественного производств // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 9. – С. 226-227.
36. Насиров И. Р., Гуреев А. А. Влияние типа сульфидирующего агента на каталитическую активность Al – Co – Mo катализатора гидроочистки // Нефтехимия. – 2000. – Т. 40. – № 4. – С. 295–298.
37. Заботин Л. И. Химия и технология вторичных процессов переработки нефти: Учеб. пособие. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2014. – 332 с.
38. Кравцов А. В., Ушева Н. В., Мойзес О. Е., Федоров А. Ф. Математическое моделирование многокомпонентных химических процессов: учебное пособие; Томский политехнический университет – 2-е изд., – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 108 с.
39. Иоффе И. И., Решетов В. А., Добротворский А. М. Гетерогенный катализ. Физико-химические основы. – Ленинград: Химия, 1985. – 224 с.
40. Темкин М. И. Графический метод вывода кинетических уравнений сложных химических реакций // Доклады Академии наук СССР. – 1965. – Т.165. – №3. – С. 615–618.
41. Яблонский Г. С., Быков В. И. Кинетические модели каталитических реакций. – Новосибирск: Наука, 1983. – 254 с.

42. Krivtcova N. I., Frantsina E. V., Beshagina E. V., Puchkova A. A., Chiblis N. V., Kotkova E. P. Hydrotreating of light atmospheric gas oil and its mixture with gasoline // *Petroleum and Coal*. – 2019. – Vol. 61. – №6. – P. 1568-1574.

43. ГОСТ 32139-2013. Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/1200108321](http://docs.cntd.ru/document/1200108321).

44. Инструкция использования «Анализатор рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный серы в нефти и нефтепродуктах СПЕКТРОСКАН S». - Санкт-Петербург, 2008 г.

45. Гаврикова Н. А., Тухватулина Л. Р., Видяев И. Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие. – Томск: ТПУ, 2014 - 51 с.

46. ГОСТ 12.0.009-2009. ССБТ. Система управления охраной труда на малых предприятиях. Требования и рекомендации по применению [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/1200073863](http://docs.cntd.ru/document/1200073863).

47. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ О специальной оценке условий труда [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/).

48. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 13 июня 2003 г. № 118 (с изменениями от 21 июня 2016 года) г. Москва [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/901865498](http://docs.cntd.ru/document/901865498).

49. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (принят ГД ФС РФ 21.12.2001) (ред. от 24.04.2020 г)

[Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/).

50. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/5200272](http://docs.cntd.ru/document/5200272).

51. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок; приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н (ред. от 15.11.2018), зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2013 N 30593 [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156148/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156148/).

52. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/1200161238](http://docs.cntd.ru/document/1200161238).

53. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/456054205](http://docs.cntd.ru/document/456054205).

54. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/456054197](http://docs.cntd.ru/document/456054197).

55. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/901704046](http://docs.cntd.ru/document/901704046).

56. Естественное и искусственное освещение: санитарные нормы и правила СНиП 23-05-95 утверждены Постановлением Минстроя России от 2 августа 1995 г. № 18-78. Москва [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/871001026](http://docs.cntd.ru/document/871001026).

57. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий: санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03: утверждены Главным государственным

санитарным врачом РФ 6 апреля 2003 г. Москва [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/901859404](http://docs.cntd.ru/document/901859404).

58. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/).

59. Патрушева Т.Н., Барашков В.А., Чурбакова О.В., Петров С.К. Экологические проблемы производства и утилизации электронных средств // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2018. – Т. 11. – № 6. – С. 679-693.

60. Постановление Правительства РФ от 26.08.2006 N 524 (ред. от 15.02.2011) "Об утверждении Положения о лицензировании деятельности по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке, размещению отходов I - IV класса опасности" [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_62497/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_62497/).

61. Постановление Правительства РФ от 26 октября 2000 г. N 818 "О порядке ведения государственного кадастра отходов и проведения паспортизации опасных отходов" [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/901773159](http://docs.cntd.ru/document/901773159).

62. Электронная библиотека Vuzlit [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://files.stroyinf.ru/Data1/4/4661/](http://files.stroyinf.ru/Data1/4/4661/).

63. Аксенова О. В., Гезикова А. С., Нерето М. О., Тумковский С. Р. Экологические проблемы электронной отрасли и экопроектирование. // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – 2014. – № 4. – С. 137.

64. Федеральный закон Российской Федерации от 24 июня 1998 г. N 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (с изменениями на 7.04.2020) [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/901711591](http://docs.cntd.ru/document/901711591).

65. Федеральный закон Российской Федерации от 26 марта 1998 г. N 41-ФЗ «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» (с изменениями на 24.04.2020) [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/901704628](http://docs.cntd.ru/document/901704628).

66. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ (ред. от 24.12.2018) [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.URL: http://docs.cntd.ru/document/902111644](http://docs.cntd.ru/document/902111644).

Приложение А

Раздел 5

Modern analysis of the diesel fuel hydrotreating process

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2KM81	Пучкова Анастасия Александровна		

Руководитель ВКР _____

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ	Кривцова Надежда Игоревна	к.т.н		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Болсуновская Людмила Михайловна	к.ф.н.		

1.3 Organic sulfur compounds in the feedstock of refining

Sulfur is one of the permanent components in the composition of oil. It is contained both in a free state, for example, a solution of sulfur in oil, and in the form of hydrogen sulfide, which is also dissolved in oil.

Thioesters, complex thioesters, thioacetals are characterized by the presence of C – S – C – bonds. In relation to the C – C bond, the C – S bond is longer because the s atom is larger and this bond is 10 % weaker. Thioesters are usually obtained by alkylation of thiols.

Thioacetal and thioketal include a sequence of C – S – C and represent a subclass of thioesters. To protect the carbonyl group in organic synthesis can be used thioacetal and thioketal.

Thioesters have a common structure of R – CO – S – R. They are common ether, but are more active.

Often in combination with other heteroatoms, as shown in the example of thiiranes, thiirenes, thietanes, dithietanes, thiolanes, thianes, dithianes, thiethanes, thiethenes, thiazoles, isothiazoles and thiophenes, there are also classes of sulfur compounds in saturated and unsaturated heterocyclic structures. The last three compounds are a special class of sulfur-containing heterocyclic compounds belonging to the class of aromatic.

The thio group is less effective as an activating group and as an aromatic substitute, than the alkoxygroups of dibenzothiophene. A tricyclic heterocycle consisting of two condensed benzene rings with a central thiophene ring is widely found in heavier fractions of oil, as well as its alkyl-substituted derivatives.

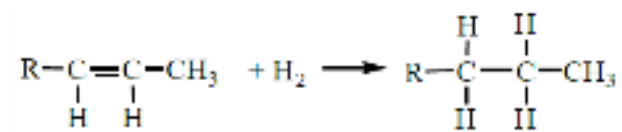
1.4 Chemistry of distillate fractions hydrotreating process

The process of hydrotreating diesel fuel proceeds at high temperature and high pressure in the presence of a catalyst. The main goal of the process such as removing impurities: sulfur, nitrogen, and oxygen-containing and metal-containing compounds for the control of a final product specification also saturation of unsaturated and diene hydrocarbons and, in some cases, partial hydrogenation of aromatic structures.

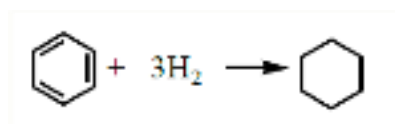
This process is characterized as a combination of a series of parallel and consecutive reactions, in which all the components contained in the initial complex mixture are involved.

The main reactions of hydrogenation of hydrocarbons:

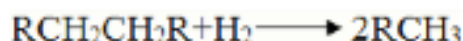
- saturation of olefins



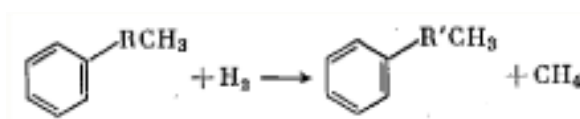
- saturation of aromatics



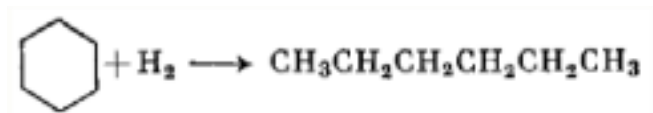
- cracking of alkanes



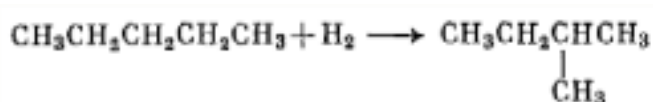
- dealkylation of cycloalkanes



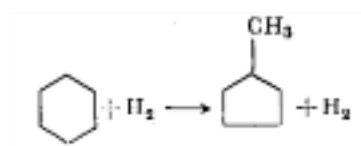
- cracking of cycloalkanes



- hydroisomerization of alkanes



- hydroisomerization of cycloalkanes



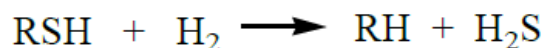
The intensity of the reactions can vary widely. It depends on the process, conditions and the type of catalyst.

The chemistry of the hydrotreating process reduces to the destruction of C – S, C – N, C – O bonds and practically does not affect C – C. Heteroatomic compounds undergo hydrogenolysis better and faster than hydrocarbons, therefore heteroatoms are removed from the feedstock as H₂S, NH₃, H₂O. Sulfur is the easiest to remove, and then oxygen and the most stable is nitrogen.

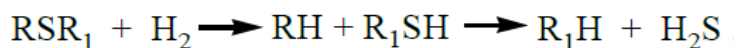
Transformations of sulfur compounds proceed in the direction of separating a heteroatom in the form of hydrogen sulfide, since C – S and S – S bonds are less stronger than C – C and C – H bonds, the primary C – S bond breaks. This is achieved by the release of final products from harmful impurities.

The basic reaction schemes for the catalytic decomposition sulfur compounds in the presence of hydrogen:

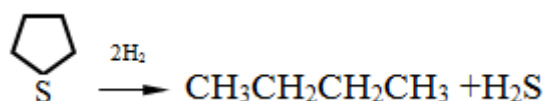
- mercaptans:



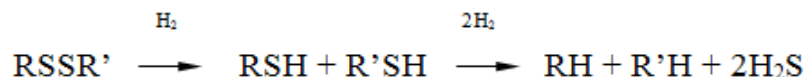
- sulfides:



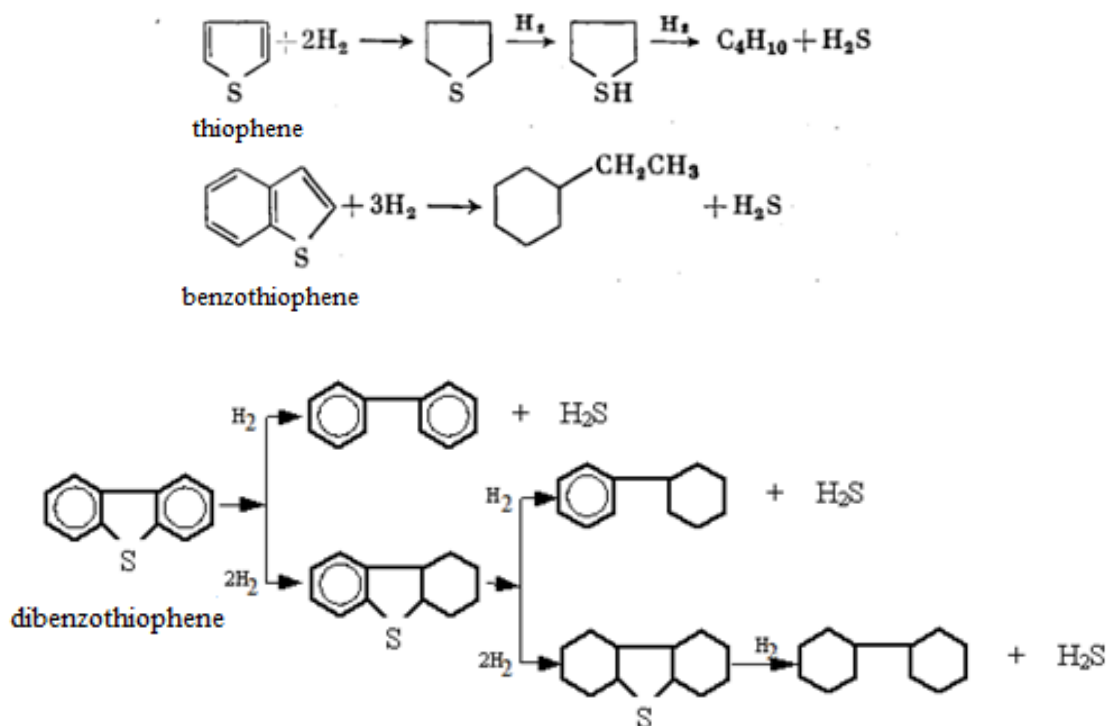
- cyclosulfides:



- disulfides:



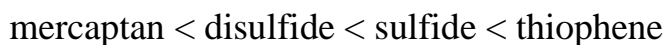
The compounds of the thiophene series are represented by benzothiophene, dibenzothiophene, alkyldibeso thiophenes and dialkyl dibenzothiophenes.



Thiophene, benzothiophene, and dibenzothiophene are hydrogenated to thiophane derivatives, which are converted to paraffinic and alkylaromatic hydrocarbons upon subsequent hydrogenation. The saturation of the aromatic rings under hydrotreating conditions does not occur. It is possible under more severe conditions of hydrogenation.

The stability of the main sulfur compounds increases in the following

sequence:



On the structure organosulfur compounds depends on their mechanism of hydrogenation. Increase in hydrogenation rate: thiophenes < thiophans < sulfides < disulfides < mercaptans.

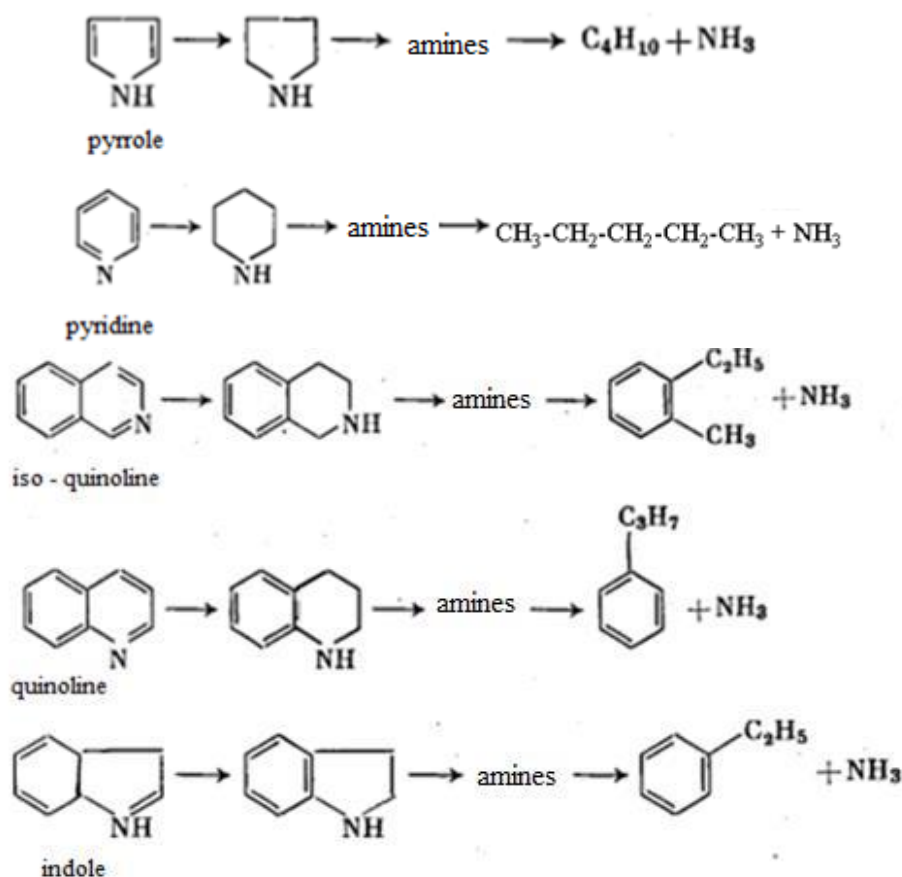
There is a very little data on the hydrogenation of nitrogen- and oxygen-organic compounds. Table 1 presents data on the hydrogenation of some types of heteroatomic analogues on Ni_2S_3 .

Table 1 - Dependence of the degree of conversion of various types of heteroatomic compounds 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

In petroleum distillates are present not only to sulfur compounds, but also nitrogen- and oxygen-containing. In the form of pyrrole, pyridine, quinoline and carbazole derivatives, nitrogen is mainly found in petroleum products.

Hydrogenation of nitrogen-containing compounds begins with saturation of the heterocyclic ring, and then the hydrogenated ring is ruptured in different positions to form primary and secondary amines. Then hydrogenolysis occurs with the formation of aromatic hydrocarbons with short side chains, paraffin hydrocarbons and free ammonia.



1.5 Catalysts of hydrotreating process

Hydrotreating is a catalytic process, where chemical transformations occur in the presence of a catalyst agent. The requirements for the quality of diesel fuel are constantly toughened. A lot of attention is paid to careful selection and search for the most effective catalysts.

A number of requirements are imposed on the catalyst. The catalyst must have a certain set of characteristics presented below [27].

Activity - the most important characteristic of the catalyst and it is its ability to accelerate the chemical reaction. Quantitatively, the activity is defined as the difference between the reaction rate under these conditions and the rate of the same reaction without the catalyst. The higher the activity of the catalyst, the greater the rate of chemical reaction is achieved. The activity value is used for the comparative evaluation of catalysts in their selection and for characterizing the quality of the catalyst. Depending on the type of catalysis the activity is usually expressed in terms of the reaction rate per unit concentration, volume or mass of the catalyst. The activity can also be expressed by a decrease in the activation energy with the participation of the catalyst or by the ratio of the rate constant of this reaction in the presence of the catalyst to the rate constant of the same reaction without it.

Selectivity of the catalyst is one of his the most important properties It is the ability of the catalyst to selectively accelerate the target reaction in the presence of several side effects.

Mechanical strength characterizes the wear resistance and strength of the catalyst during the entire working cycle.

The regeneration period and the service life depend on the way the catalyst is loaded, its type, the conditions of the process, the purity of the feedstock.

Cost - an economic indicator, the catalyst should have the desired properties at the lowest cost.

The main properties that a hydrotreating catalyst must have are a high activity to the reactions of C – S bond cleavage, C – N, C – O bonds and saturation of unsaturated hydrocarbons.

1.6 Modern hydrotreating units

Modern hydrogenation processes of the Union Oil Co company consist of:

The Unicracking / DP process includes two hydrotreating and selective hydrodewaxing reactors operating. Two reactors working in succession for to produce low-temperature diesel fuel temperature (pour point of up to - 80 ° C) from diesel fractions and vacuum gas oils. Product with a sulfur content of 0.002 %, also 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. The process goes on the HC – K preliminary hydrotreating catalyst and an improved zeolite catalyst DHC – 32.

The main product of the hydrotreating process is stable hydrogenate, the yield of which is 97% (wt.), gasoline – up to 1.5% (wt.), hydrocarbon gas – up to 0.7% (wt.), hydrogen sulfide – up to 2.5%. (wt.).

The diesel hydrotreatment unit consists of the following units:

- reactor unit;
- stabilization unit;
- unit of purification of circulating make-up hydrogen gas from hydrogen sulfide with a solution of monoethanolamine (MEA);
- regeneration unit of the MEA solution.

In figure 4 shows schematic diagram of the installation of hydrotreating diesel fraction:

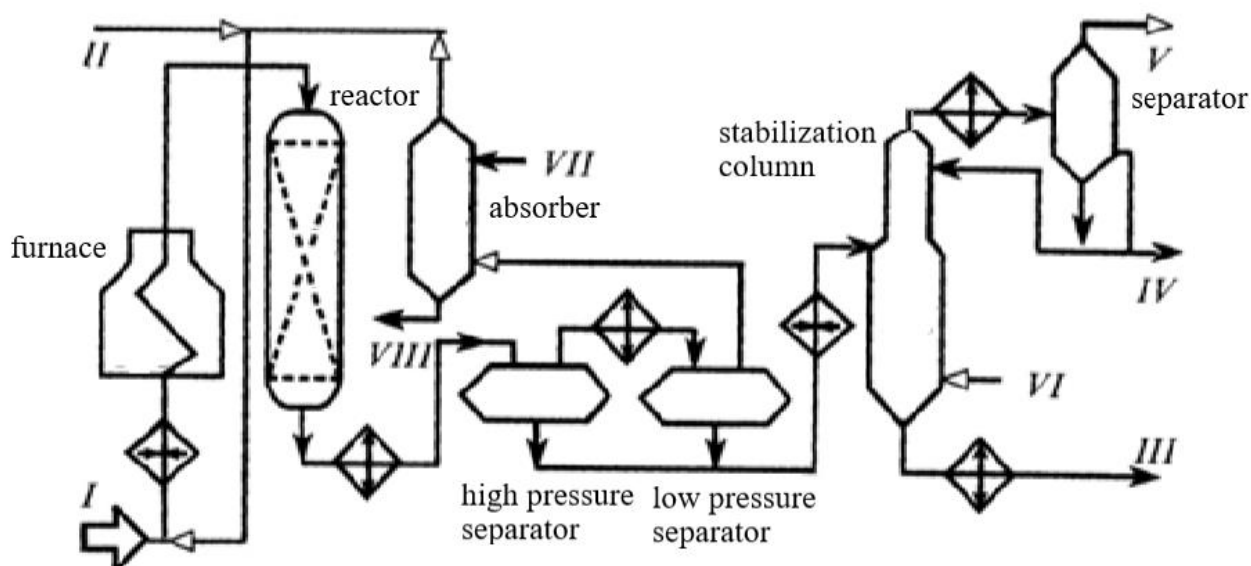


Figure 4 – Schematic diagram of the installation of hydrotreating diesel fraction:

I – feedstock; II – make-up hydrogen gas; III – hydrogenate; IV – gasoline;
 V – hydrocarbon gas; VI – vent gas; VII – regenerated monoethanolamine;
 VIII – monoethanolamine for regeneration.

2 EXPERIMENTAL PART

2.1 Object and research methods

2.1.1 The laboratory catalytic unit

The laboratory catalytic unit is designed to study the process hydrotreating of distillate feed, which the process under high pressure conditions in the flow mode, at a maximum temperature of 700 °C and maximum pressure of 9 MPa.

In figure 7 shows the technological scheme of the laboratory catalytic unit, which include 3 blocks:

- block for the distribution of the feedstock and hydrogen;
- the reaction block;
- block for the product separation;

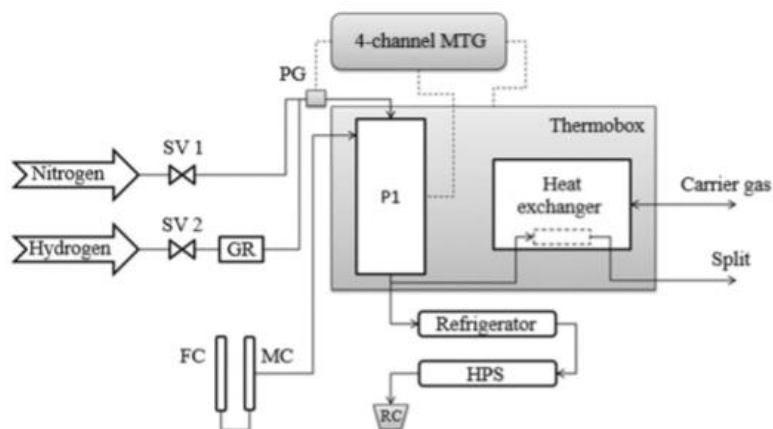


Figure 7 – Technological scheme of laboratory catalytic unit: SV – stop valve; GR – gas regulator; PR – pressure reactor; HPS – high-pressure separator; PG – pressure gauge; RC – receiving container; MTG – microprocessing temperature gauge; MC –measuring container; FC – feedstock container [42]

In figure 8 shows a flow-type reactor, which used for the experiments.

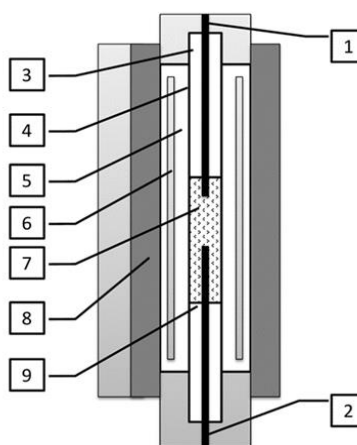


Figure 8 – Tube wall reactor: 1, 2 – termocouples, 3 – evaporator, 4 – vessel hull, 5 – copper bandage, 6 – furnace, 7 – catalyst bed, 8 – thermoinsulation, 9 – grid [42]

This reactor made of stainless steel and allows carrying out the process under high pressures. Maximum volume catalyst of the loaded is 10 cm^3 and the internal diameter of the reactor is 12 mm. The temperature range of the reactor is 50-700 °C.

A single-zone electric furnace heats the reactor with an accuracy of $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ along the catalyst bed in which the control thermocouple is located. The supply voltage is 220 Vac.

In the product separation unit there is a high-pressure separator and a direct-flow refrigerator. Condensate collects in the condensate receiver E after separation of the products in the high-pressure separator.

2.1.2 Hydrotreating process

The object of study is a laboratory catalytic unit for hydrotreating distillate feedstock.

Hydrotreating distillate feed with a total sulfur content of 0.699% of the mass. was carried out in a laboratory catalytic unit using highly active NiCoMo - catalyst KF-905-1.3Q (Figure 9).



Figure 9 - Used catalyst KF-905-1.3Q

Before using, the catalyst must be passivated by sulfiding with a feedstock containing dimethyldisulfide (DMDS). Sulphiding was carried out in the reactor, in the presence of hydrogen and under high pressure. The sulfidizing agent was fed into the

reactor at a pressure of 3.5 MPa, with a space velocity of 2 h^{-1} and a ratio of hydrogen:feed = 300:1.

Sulfiding method:

- Drying of the catalyst at a temperature of $140 \text{ }^{\circ}\text{C}$ in the presence of hydrogen;
- Pressure increasing in the reactor up to 3.5 MPa;
- Impregnation of the catalyst with light straight-run diesel fraction with a sulfur content of 0.654%;
- Raising the temperature in the reactor to $240 \text{ }^{\circ}\text{C}$ at a speed of $50 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{h}$;
- Sulphiding at a temperature of $240 \text{ }^{\circ}\text{C}$, for 8 hours;
- Temperature increasing in the reactor up to $340 \text{ }^{\circ}\text{C}$ with a speed of $50 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{hour}$;
- Sulphiding at a temperature of $340 \text{ }^{\circ}\text{C}$, for 8 hours.

The impregnation of the catalyst with a light straight-run diesel fraction is necessary for uniform distribution of the sulfidizing mixture over the catalyst layer, increasing the activity of the catalyst, reducing the formation of coke and increasing the inter-regeneration cycle.

The reaction products were fed into a water refrigerator-condenser. The liquid reaction products were collected for analysis by draining into the receiver. The gaseous products through the valve-throttle went to the six-pass valve, through which the gas was split into the atmosphere.

Bibliography:

7. Kapustin V. M., Chernysheva E. A. The development of petroleum refining and petroleum chemistry in Russia // *Petroleum Chemistry*. – 2010. – Vol. 50. – P. 247-254.
12. Stanislaus A., Marafi A., Rana M. S. Recent advances in the science and technology of ultra low sulfur diesel (ULSD) production // *Catal. Today*. – 2010. – Vol. 153. – № 1. – P. 1-68.
16. Silva J. I. S. and Secchi A. R. Model predictive control for production of ultra-low sulfur diesel in a hydrotreating process // *Braz. J. Chem. Eng.* – 2019. – Vol. 36. – № 1. – P. 439-452.
27. Takashi Fujikawa, Hiroshi Kimura, Kazuyuki Kiriya, Kazuhiko Hagiwara. Development of ultra-deep HDS catalyst for production of clean diesel fuels// *Catalysis Today*.- 2006., № 111.- P.188–193.
42. Krivtsova N. I., Frantsina E. V., Beshagina E. V., Puchkova A. A., Chiblis N. V., Kotkova E. P. Hydrotreating of light atmospheric gas oil and its mixture with gasoline // *Petroleum and Coal*. – 2019. – Vol. 61. – №6. – P. 1568-1574.