

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ): Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование процесса гидроочистки дизельной фракции

УДК 665.658.2:665.753.4:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Грива Дарья Валерьевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Чузлов Вячеслав Алексеевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Мойзес Ольга Ефимовна	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ
по образовательной программе «Химическая технология переработки нефти и газа»
(направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»)

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности
УК(У)-9	способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	готовностью использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий

Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	способность и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	способность наладивать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	способностью анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
Дополнительные профессиональные компетенции (профессиональные компетенции, установленные университетом)	
ДПК(У)-1	способность планировать и проводить химические эксперименты, проводить обработку результатов эксперимента, оценивать погрешности, применять методы математического моделирования и анализа при исследовании химико-технологических процессов
ДПК(У)-2	готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ДПК(У)-3	готовность использовать знания фундаментальных физико-химических закономерностей для решения возникающих научно-исследовательских задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе, химических реакторов
ДПК(У)-4	готовность использовать информационные технологии при разработке проектов
ДПК(У)-5	готовность изучать научно-техническую информацию отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования на английском языке

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) 18.03.01 «Химическая технология»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП/ОПОП
 _____ О.Е. Мойзес
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

ВКР бакалавра

Студенту:

Группа	ФИО
2Д8Б	Грива Дарье Валерьевне

Тема работы:

Математическое моделирование процесса гидроочистки дизельной фракции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.01.2022 г. № 28-92 / с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования – промышленная установка гидроочистки дизельной фракции. Технология предназначена для получения дизельного топлива, соответствующего современным экологическим стандартам.
--	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	Введение 1 Литературный обзор 1.1 Назначение процесса гидроочистки 1.2 Сырье процесса гидроочистки 1.3 Основные управляющие параметры процесса гидроочистки 1.4 Химические основы процесса гидроочистки 1.5 Катализаторы процесса гидроочистки 1.6 Технология процесса гидроочистки дизельного топлива 1.7 Расчетные методы определения физико-химических свойств дизельной фракции 1.8 Математическое моделирование процесса гидроочистки дизельной фракции 2 Объект и методы исследования 2.1 Характеристика объекта исследования 2.2 Описание математической модели процесса гидроочистки дизельной фракции 3 Экспериментальная часть 3.1 Анализ исходных данных 3.2 Пересчет фракционного состава дизельной фракции в групповой 3.3 Проверка математической модели на адекватность 3.4 Влияние технологических параметров на содержание серы на выходе 3.5 Прогнозирование температуры на входе в реакторный блок гидроочистки дизельной фракции
--	---

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
---	--

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Д.В. Грива		

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 18.03.01 «Химическая технология»
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

ВКР бакалавра

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающегося:

Группа	ФИО
2Д8Б	Грива Дарьи Валерьевны

Тема работы:

Математическое моделирование процесса гидроочистки дизельной фракции

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.03.2022 г.	Введение	10
25.03.2022 г.	Технология процесса гидроочистки дизельной фракции. Сравнение технологий гидроочистки. Химизм процесса. Катализаторы процесса гидроочистки дизельной фракции.	10
08.04.2022 г.	Цель и задачи исследования. Функционирование установки гидроочистки дизельной фракции. Характеристика объекта исследования. Формализация схемы превращений компонентов сырья. Кинетическая модель процесса гидроочистки дизельной фракции.	20
29.04.2022 г.	Результаты проведенного исследования. Анализ лабораторных данных. Анализ экспериментальных данных технологического режима. Расчет процесса при действующем технологическом режиме. Оценка влияния основных управляющих параметров процесса гидроочистки. Рекомендации по корректировке температуры на входе в реакторный блок для достижения требуемой глубины сероочистки исходного сырья.	50
25.05.2022 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная	10

	ответственность». Заключение.	
--	-------------------------------	--

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	О.Е. Мойзес	К.Т.Н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Д.В. Грива		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д8Б	Грива Дарье Валерьевне

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	03.02.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		03.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Грива Дарья Валерьевна		03.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
2Д8Б		Грива Дарье Валерьевне	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Математическое моделирование процесса гидроочистки дизельной фракции	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования	Объектом исследования является процесс гидроочистки дизельной фракции (2 корпус, 133 аудитория). Область применения – переработка нефти.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства, организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность: – Анализ потенциально вредных и опасных производственных факторов – Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	Анализ вредных факторов: – Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; – Статические физические перегрузки; – Нервно-психические перегрузки; – Перегрузка зрительного аппарата; – Повышенный уровень шума; – Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; – Производственные факторы, связанные с наличием электростатического поля и электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Анализ опасных факторов: – Пожарная опасность; – Производственные факторы, связанные с электрическим током.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	– Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств); – Решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Возможные ЧС: – Пожаровзрывоопасность.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.02.2022
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович			20.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д8Б	Грива Дарья Валерьевна		20.02.2022

Определения, обозначения, сокращения, нормативные

ССЫЛКИ

В настоящей бакалаврской работе были приняты следующие сокращения:

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

ДТ – дизельное топливо

ДФ – дизельная фракция

УВ – углеводороды

ВСГ – водородсодержащий газ

ЦВСГ – циркулирующий водородсодержащий газ

МЭА – моноэтаноламин

ГО ДТ – гидроочистка дизельного топлива

МДЭА – метилдиэтаноламин

ОСПС – объемная скорость подачи сырья

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 105 страниц, 17 рисунков, 32 таблицы, 37 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: гидроочистка, дизельная фракция, математическая модель, моделирование, температурный режим.

Работа представлена ведением, пятью разделами и выводами, приведен список литературы.

Объектом исследования является технология процесса гидроочистки дизельной фракции.

Цель работы – создание математической модели процесса гидроочистки дизельной фракции и анализ влияния основных управляющих параметров на расчетное значение остаточного содержания серы.

В ходе работы разработана математическая модель гидроочистки дизельной фракции, произведен подбор термодинамических и кинетических параметров реакций процесса, исследовано влияние основных управляющих параметров на остаточное содержание серы, реализован пересчет фракционного состава дизельной фракции в групповой, определены показатели экономической эффективности.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	16
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	18
1.1 Назначение процесса гидроочистки.....	18
1.2 Сырье процесса гидроочистки.....	19
1.3 Основные управляющие параметры процесса гидроочистки	20
1.4 Химические основы процесса гидроочистки	22
1.4.1 Гидрогенолиз серосодержащих соединений.....	22
1.4.2 Гидрогенолиз азотсодержащих соединений	24
1.4.3 Гидрогенолиз кислородсодержащих соединений	25
1.5 Катализаторы процесса гидроочистки.....	25
1.6 Технология процесса гидроочистки дизельного топлива.....	28
1.7 Расчетные методы определения физико-химических свойств дизельной фракции	32
1.7.1 Расчет средней молекулярной массы дизельной фракции	32
1.7.2 Расчет критических параметров	33
1.7.2.1 Метод Риози	33
1.7.2.2 Метод Ли-Кеслера.....	34
1.7.2.3 Метод Twu	34
1.7.3 Расчет качественных показателей	36
1.7.3.1 Метод API (Риози-Дауберт)	36
1.7.3.2 Метод n-d-M.....	39
1.8 Математическое моделирование процесса гидроочистки дизельной фракции	40
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	43
2.1 Характеристика объекта исследования.....	43
2.2 Описание математической модели процесса гидроочистки дизельной фракции	44
2.2.1 Термодинамический анализ	44
2.2.2 Адаптация формализованной схемы химических превращений	45

2.2.3 Адаптация кинетической модели процесса гидроочистки дизельной фракции	47
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	51
3.1 Анализ исходных данных.....	51
3.2 Пересчет фракционного состава дизельной фракции в групповой	53
3.3 Проверка математической модели на адекватность.....	57
3.4 Влияние технологических параметров на содержание серы на выходе	58
3.4.1 Влияние температуры на входе в реактор	58
3.4.2 Влияние давления в реакторе.....	60
3.4.3 Влияние объемной скорости подачи сырья.....	61
3.5 Прогнозирование температуры на входе в реакторный блок гидроочистки дизельной фракции.....	62
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	63
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	63
4.1.3 SWOT-анализ.....	67
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	70
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	70
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	71
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	72
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	74
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	80
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	83
5.1 Введение.....	83
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения	83
5.3 Производственная безопасность при разработке проектного решения	86
5.3.1 Анализ потенциально вредных и опасных факторов	86

5.3.3 Статические физические перегрузки	89
5.3.4 Нервно-психические перегрузки	89
5.3.5 Перегрузка зрительного аппарата	90
5.3.6 Повышенный уровень шума	90
5.3.8 Производственные факторы, связанные с наличием электростатического поля и электромагнитных полей радиочастотного диапазона	92
5.3.9 Производственные факторы, связанные с электрическим током	93
5.3.10 Пожарная опасность	94
5.4 Экологическая безопасность при разработке проектного решения	94
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	95
ВЫВОДЫ	98
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	100
ПРИЛОЖЕНИЕ А	105

ВВЕДЕНИЕ

Снижение в составе прямогонной дизельной фракции сераорганических веществ является актуальной проблемой отечественной нефтепереработки. Вследствие этого, базовым процессом производства дизельного топлива является каталитическая гидроочистка.

Характерными особенностями процесса гидрооблагораживания дизельной фракции является его нестационарность, обусловленная непостоянством состава перерабатываемого сырья, изменением технологических условий процесса и постепенной дезактивацией катализатора.

Проблема выбора оптимального технологического режима процесса и прогнозирования активности катализатора – сложная многофакторная задача, требующая комплексного решения, которое можно получить с использованием детерминированной математической модели, учитывающей физико-химические основы протекания процесса и изменение активности катализатора. Подобная модель позволит прогнозировать работу установки, подбирать оптимальные технологические условия с учетом нестационарности промышленного процесса, с целью продления срока службы катализатора.

Таким образом, **целью работы** является создание математической модели процесса гидроочистки дизельной фракции и анализ влияния основных технологических параметров на расчетное значение остаточного содержания серы.

Для достижения цели были обозначены следующие задачи:

1. Анализ полученных данных пробега промышленной установки гидроочистки дизельной фракции.
2. Проведение термодинамического анализа возможности протекания реакций.
3. Подбор термодинамических и кинетических параметров протекающих реакций.
4. Составление формализованной схемы химических превращений.

5. Составление кинетической модели процесса.
6. Проверка математической модели на адекватность.
7. Анализ влияния технологических режимов процесса на остаточное содержание серы.

Объектом исследования является технология процесса гидроочистки дизельной фракции.

Практическая значимость работы заключается в том, что применение математической модели процесса гидроочистки дизельной фракции позволит подбирать оптимальный технологический режим установки.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Назначение процесса гидроочистки

Каталитическая гидроочистка представляет собой фундаментальный процесс в современной переработке нефти. Процесс проводят с целью удаления нежелательных примесей, таких как, S–, N–, O–содержащие соединения, металлоорганические соединения, насыщения углеводородов олефинового ряда, а также гидрирования ароматических структур. Благодаря своей гибкости этот процесс можно использовать для повышения качества различных нефтяных фракций, в первую очередь дизельного топлива [1, 2].

Спрос на дизельное топливо неуклонно растет ввиду экономической активности населения и бизнеса. За 2021 год производство данного вида топлива достигло 80,3 млн т. (Рисунок 1.1), что значительно превышает докризисный уровень 2019 года [4].

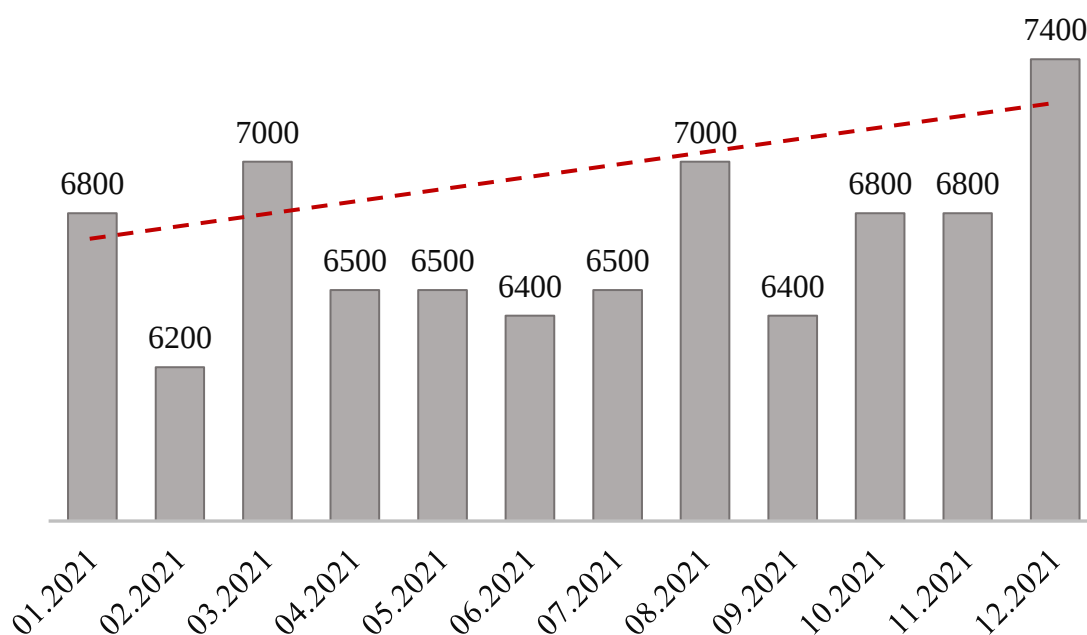


Рисунок 1.1 – Производство дизельного топлива в Российской Федерации за 2021 год, тыс. тонн [4]

Уровень значимости процесса гидроочистки обоснован увеличением месторождений сернистых и высокосернистых нефтей. Серосодержащие соединения понижают ресурс работы автомобильных двигателей, способствуют

образованию коррозии аппаратуры нефтепереработки, отравляют катализаторы процессов, оказывают пагубное экологическое воздействие, вследствие чего ужесточаются требования к содержанию гетероатомных соединений в нефтепродуктах.

Гидроочистка дизельной фракции является завершающим этапом производства транспортного топлива, отвечающего экологическим стандартам. ДТ подразделяется на 4 экологических класса согласно [3]. Самым экологичным является дизельное топливо с пониженным содержанием серы (К5), массовая доля которой не превышает 10 мг/кг. Высокое содержание серы в топливе сопровождается опасными выбросами в атмосферу и износом двигателя.

1.2 Сырье процесса гидроочистки

Процессу гидроочистки подвергают следующие топливные фракции:

- бензиновая фракция (подается на очистку с целью подготовки к процессу каталитического риформинга);
- реактивное топливо (для получения малосернистой керосиновой фракции, светлого керосина и растворителей, с содержанием серы не более 0,05 – 0,1 %);
- дизельное топливо (с целью очистки от сераорганических, азот- и кислородсодержащих соединений и повышению стабильности к смолообразованию);
- вакуумный дистиллят (для очистки и дальнейшей отправки на процессы каталитического крекинга, гидрокрекинга, получения электродного кокса и т.д.).

По мере увеличения общей молекулярной массы сырья гидроочистка протекает сложнее вследствие того, что значительная часть нефтепродукта находится в жидком состоянии, что повышает вязкость и усложняет подвод водорода к поверхности катализатора. По причине протекания процесса гидроочистки в жидкой фазе и увеличения вязкости жидкости, снижается растворимость водорода в данных условиях. Моно- и полиароматические

структуры, смолисто-асфальтеновые и полициклические нафтенковые соединения имеют свойство плотно адсорбироваться на поверхности катализатора, а также обладают устойчивостью к реакциям гидрогенолиза, тем самым снижают глубину гидроочистки. Для улучшения протекания процесса и увеличения продолжительности эксплуатации катализаторов используют термостойкие носители с высокой механической прочностью.

Целевой продукт процесса гидроочистки – стабильный гидрогенизат, характеризующийся 98 % масс. выхода продукта. После гидрооблагораживания в топливо добавляют диспергирующие присадки для улучшения эксплуатационных характеристик [6].

В дальнейшем будет рассмотрен процесс гидроочистки именно дизельного топлива.

1.3 Основные управляющие параметры процесса гидроочистки

Основные параметры данного процесса гидрооблагораживания: температура, давление, кратность циркулирующего ВСГ и соответствующее содержание H_2 , объемная скорость подачи сырья.

При температуре в пределах $330 \div 340$ °С процесс гидроочистки дизельного топлива протекает с недостаточной глубиной при объемной скорости $4 \div 5$ ч⁻¹ (глубина гидроочистки не превышает 55-58 %). При увеличении температуры процесс становится жестче, что приводит к снижению содержания гетероатомов в нефтепродукте. При 420 °С для процесса характерны побочные реакции гидрокрекинга, способствующие дезактивации катализаторов. При дальнейшем повышении температуры процесса, увеличивается расход циркулирующего ВСГ, и по причине роста температуры он может несколько снизиться, так как возможны реакции обратного отщепления водорода (дегидрирование) [5].

На НПЗ подбирают максимально низкую температуру процесса гидроочистки, если это не отражается на качестве нефтепродукта на выходе. Для каждого вида топливного сырья и соответствующего катализатора следует подбирать температуру экспериментально в условных пределах ($330 \div 420$ °С).

При увеличении температуры выше предельной в продукте начинает возрастать концентрация ненасыщенных углеводородов, а глубина гидроочистки в основном стабилизируется.

Следующий важный параметр процесса гидроочистки дизельного топлива – объемная скорость подачи сырья (v_0). Производительность установки гидроочистки напрямую зависит от объемной скорости подачи сырья. Вследствие значительного влияния данного параметра на процесс (при снижении объемной скорости глубина гидроочистки увеличивается, но из-за этого меньше подается сырья на установку), определяют опытным путем оптимальное значение параметра для очищаемого сырья, учитывая тип и состояние катализатора, температуру и парциальное давление водорода.

При ужесточении требований к качеству дизельного топлива на выходе при высоких значениях объемной скорости требуется, соответственно, ужесточать условия протекания процесса, а именно увеличивать температуру и парциальное давление водорода. Объемная скорость подачи ДТ изменяется в следующих пределах: 2-5 ч⁻¹.

Также очень важно учитывать давление непосредственно на установке и парциальное давление водорода в системе. С повышением последнего повышается степень гидрогенолиза и глубина очистки от гетероатомов и металлов, а также насыщение олефинов, уменьшается концентрация ароматических и полиароматических структур, меньше закоксовываются катализаторы и увеличивается срок их эксплуатации [7].

Увеличение давления в системе способствует не только изменению степени превращения нефтепродукта в результате повышения парциального давления водорода, но и образованию жидкой фазы. Это влияние обусловлено малой скоростью диффузии атомов водорода через жидкие УВ, а активные центры катализаторов, находящиеся в заполненных порах, не принимают участие в реакциях гидрогенолиза. Отсюда следует, что скорость и степень превращения зависят от доступа водорода к поверхности катализатора. Общее влияние

давления водорода складывается исходя из влияния давления в системе, содержания водорода в ВСГ и отношения водород : сырье.

Существует оптимальная кратность циркуляции водородсодержащего газа. Низкая степень обессеривания сырья при малой кратности циркуляции объясняется недостаточной подачей в реактор водорода. Снижение степени обессеривания при расходе газа выше оптимального, но с прежней пропускной способностью реактора по сырью, связано с уменьшением времени контакта его с катализатором. Кратность циркуляции газа для различных условий составляет 220-700 м³ (н. у.)/м³ жидкого сырья. Энергетические затраты на сжатие циркулирующего газа компрессором растут с увеличением кратности водорода к сырью, а также гидравлического сопротивления системы, оцениваемого по разности давлений циркулирующего газа на выходе из компрессора и на входе в него.

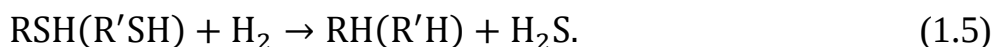
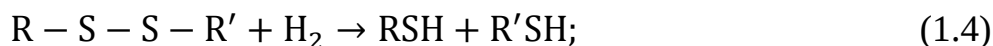
1.4 Химические основы процесса гидроочистки

В процессе гидрооблагораживания дизельной фракции происходит гидрогенизация гетероатомных соединений посредством разрушения связей C-S, C-N, C-O и насыщения атомами водорода свободных связей. В связи с этим гетероэлементы образуют побочные продукты реакций, такие как аммиак, сероводород и воду. Алкены, алкадиены и частично ароматические структуры (моно-, полициклические) насыщаются водородом и переходят в предельные углеводороды.

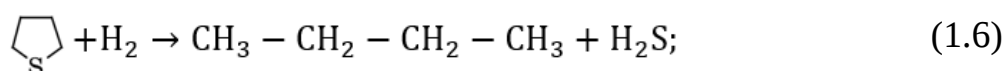
1.4.1 Гидрогенолиз серосодержащих соединений

C-S-связь относительно непрочная и достаточно легко подвергается деструкции. В серосодержащих низкомолекулярных соединениях реакция гидрирования проходит с образованием H₂S и предельных углеводородов. Так, гидрирование меркаптанов, сульфидов и дисульфидов протекает с образованием парафиновых углеводородов (RH) и H₂S [8]:

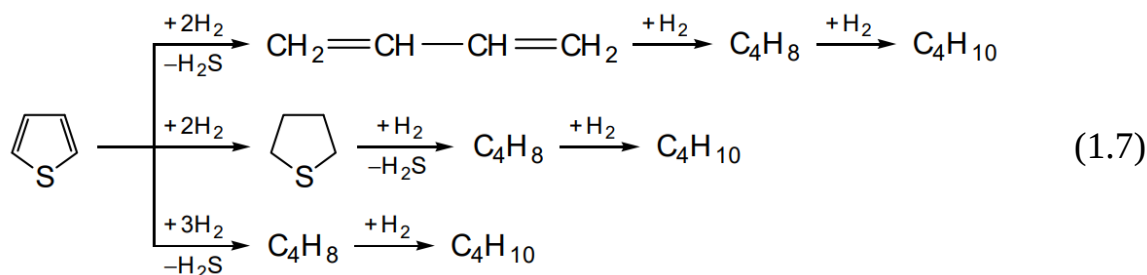




К примеру, тетрагидротиофен (циклический сульфид), гидрируется с образованием бутана и H_2S , но также при высоких температурах склонен превращаться в тиофен с выделением H_2 (при определенных термодинамических условиях) [8]:



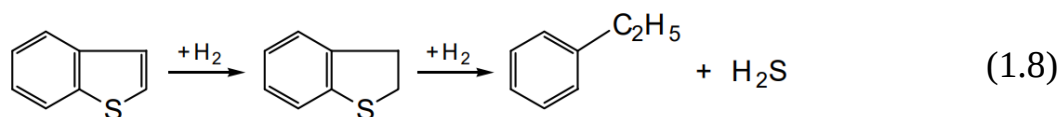
В зависимости от условий протекания и природы катализатора тиофен может гидрироваться по трем направлениям [9]:



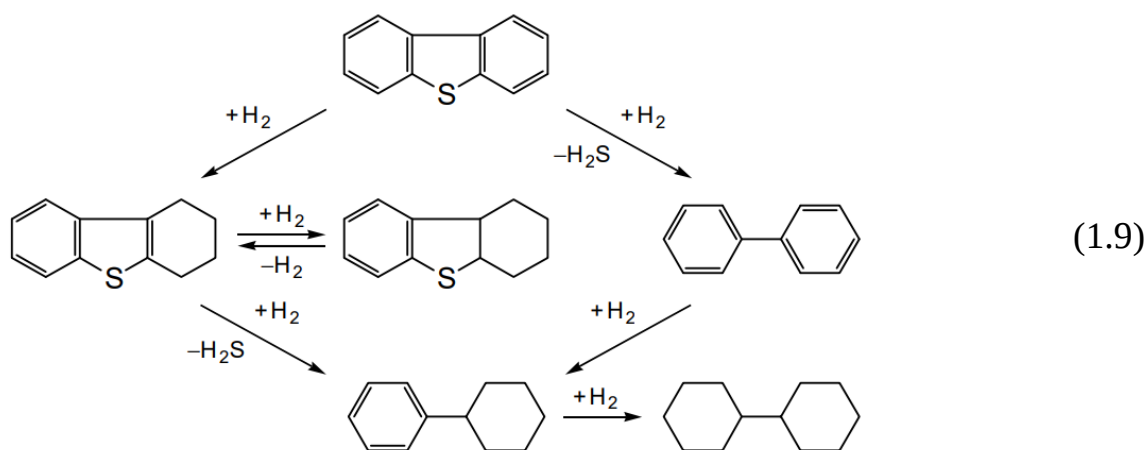
Побочными продуктами являются бутены. Энергия активации реакции 43–64 кДж/моль при $300 \div 400^\circ\text{C}$.

Гидрогенолиз тиофена при давлении до 10 МПа и температуре 420°C протекает на 90 %.

Для гидрогенолиза бензотиофена по тиофеновому механизму характерны три ступени реакции [9]:



Гидроочистка дибензотиофена протекает по следующему механизму [9]:

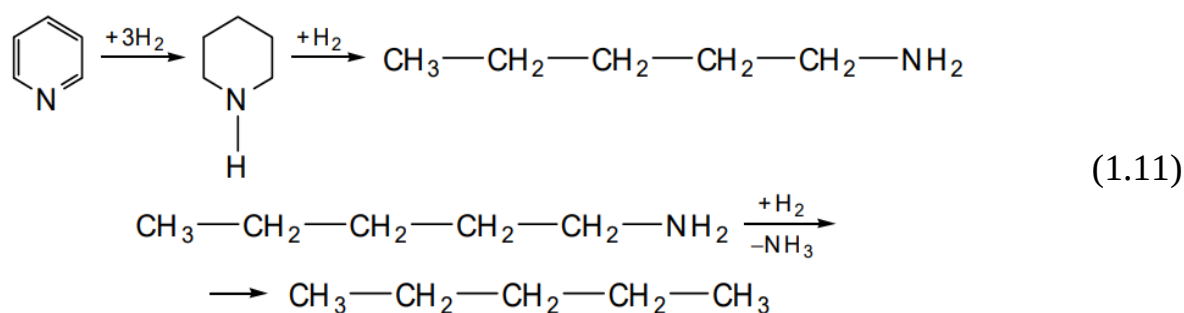
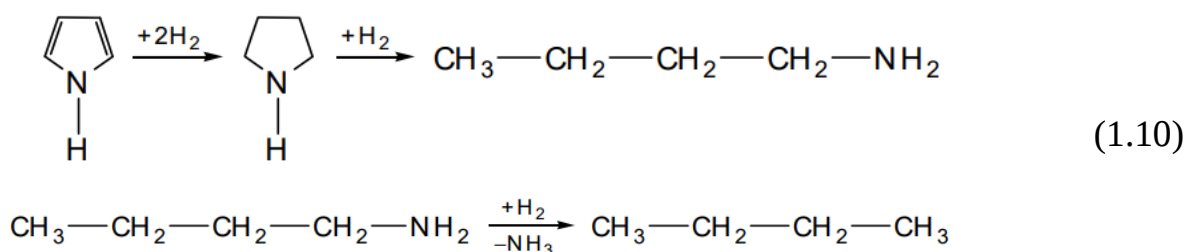


Скорость гидрогенолиза серосодержащих соединений изменяется в ряду:
 тиофены < тетрагидротиофены $\approx$ сульфиды < дисульфиды < меркаптаны.

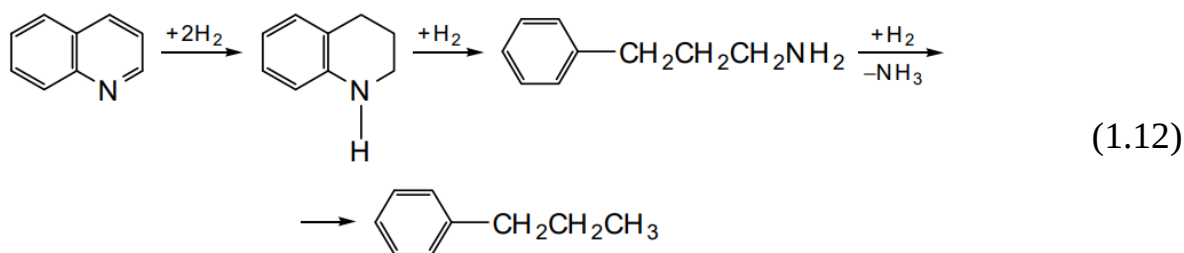
1.4.2 Гидрогенолиз азотсодержащих соединений

Вследствие того, что гидрирование C-N-связи протекает сложнее, чем C-S-связи, удалить азот из нефтепродукта в процессе гидроочистки более трудная задача. Второе, что усложняет деструкцию данной связи – в нефтяных фракциях азот находится в гетероциклических соединениях (гомологи пиррола и пиридина).

Реакции гидрогенолиза производных пиррола и пиридина протекают в несколько стадий [2, 9]:

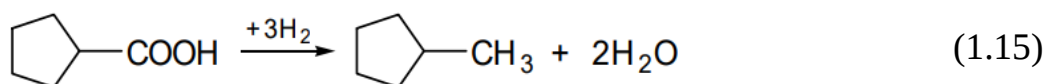
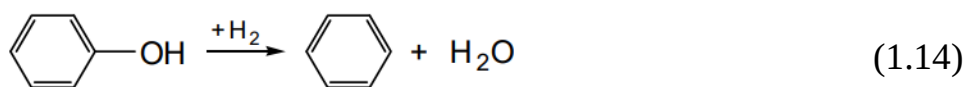


Гидрогенолиз полициклических азотсодержащих ароматических структур начинается с кольца, содержащего гетероатом азота, к примеру, реакция гидрирования бензопиридина [10]:



1.4.3 Гидрогенолиз кислородсодержащих соединений

Гетероатом кислорода в топливных фракциях может быть представлен в виде фенольных, эфирных и карбоксильных групп. При реакциях гидрогенолиза кислородсодержащих соединений образуются соответствующие реагирующим структурам углеводороды и вода, к примеру [9, 10]:



1.5 Катализаторы процесса гидроочистки

В гидроочистке основной реакцией является насыщение гетероатомных соединений, а также олефинов и ароматических соединений, вследствие этого в катализаторах данного процесса должна преобладать функция гидрирования.

Свойства, соответствующие данным требованиям, характерны для таких металлов, как Ni, Co, Fe, Mo, W, Cr. В зависимости от соотношения входящих компонентов катализатора можно управлять процессом гидроочистки в широких пределах.

В нефтеперерабатывающей промышленности для процесса гидроочистки нашли применение алюмокобальтмолибденовый (АКМ) и алюмокобальтникелевый (АНМ) катализаторы. На активный оксид алюминия ($\gamma - Al_2O_3$ или $\eta - Al_2O_3$) с развитой удельной поверхностью наносятся гидрирующие компоненты (кобальт, никель, молибден) в виде оксидов. Помимо оксида алюминия, используются различные кристаллические алюмосиликаты, или цеолиты, а также другие аморфные соединения, выполняющие роль носителя в катализаторе гидроочистки (TiO_2, SiO_2) [21].

Центрами катализаторов $Co(Ni)Mo(S)/Al_2O_3$, отвечающими за каталитическую активность, являются атомы никеля и кобальта, которые связаны сульфидными мостиками с кристаллитами MoS_2 . Кристаллит является структурным элементом активного компонента и представляет собой молибденит, боковые грани, которого заполнены ионами гидрирующих металлов (кобальт, никель), взаимодействующих с сульфидной сеткой. На активных центрах происходит активация непосредственно серосодержащего субстрата и водорода (Рисунок 1.2).

Активация окклюдированного молекулярного водорода происходит по механизму окислительного присоединения:

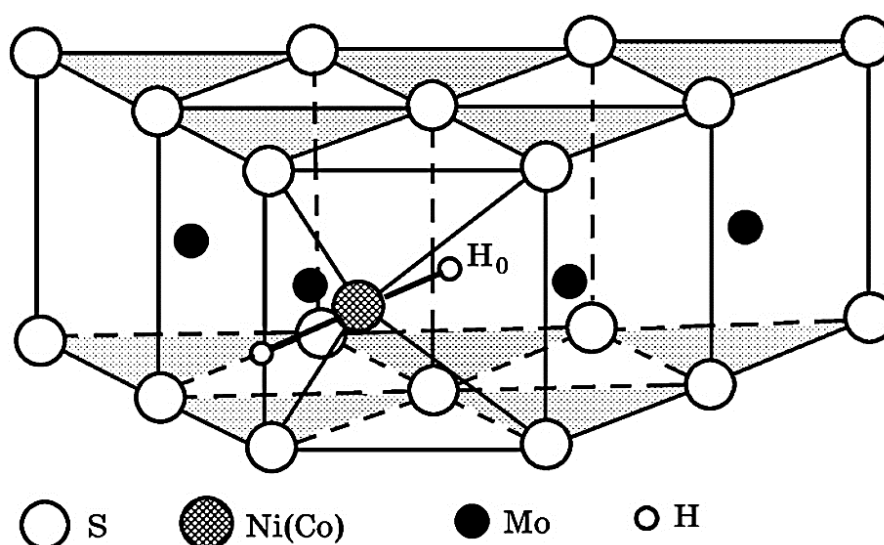
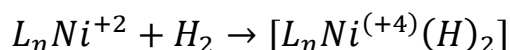


Рисунок 1.2 – Окклюдированный атом водорода в структуре переходных металлов катализатора [9]

На рынке нашел особое применение катализатор гидроочистки [11], в состав которого входят MoO (10-24 % масс.), CoO (3-9 % масс.) и Al_2O_3 .

В алюмокобальтмолибденовом катализаторе соотношение CoO и MoO_3 в молях изменяется в определенных пределах (0,1-4):1, хотя обычно оно равняется 1:1; в дополнение для обеспечения требуемой десульфирующей способности содержание оксида кобальта в катализаторе не должно опускаться ниже 1,2 % масс. В алюмоникельмолибденовом катализаторе соотношение оксидов никеля и молибдена находятся в пределах (0,5-1,15):1. В целом, увеличение суммарной концентрации оксидов гидрирующих компонентов незначительно увеличивает активность катализатора, поэтому идеальное их содержание в диапазоне 7-22 % масс.

Для алюмокобальтмолибденового катализатора характерна достаточная избирательность. Применение данного катализатора в промышленном процессе гидроочистки обусловлено высокой активностью в реакциях обессеривания, денитрогенизации и деоксигенации, несмотря на отсутствие протекания реакций гидрирования ароматических структур. Также алюмокобальтмолибденовый катализатор проявляет стойкость к каталитическим ядам и высоким температурам, что продлевает срок эксплуатации данного катализатора.

Алюмоникельмолибденовый катализатор отличается меньшей активностью в процессе гидрирования олефинов, по сравнению с алюмокобальтмолибденовым, но в противовес этому более активен в реакциях гидрирования аренов и азотистых соединений. На ряду с этим, у алюмоникельмолибденового катализатора снижается первоначальная активность по нескольким причинам: закоксовывание, уменьшение активной поверхности при повышенных температурах. Во избежание таких последствий следует постепенно увеличивать температуру процесса, а по достижении предела ($390 \div 420$ °C) проводят окислительно-восстановительную регенерацию (выжигание кокса) или меняют катализатор.

Активность гидрообессеривания катализаторов в основном зависит от структурных характеристик носителя, поэтому для повышения

гидрообессеривающей способности увеличивают удельную поверхность до 300 м²/г, средний диаметр пор находится в диапазоне 9-11 нм. Все это способствует скорому проникновению серосодержащих молекул к активным центрам катализатора [12].

Активность катализаторов процесса гидроочистки повышается добавлением фосфорсодержащих соединений, в большинстве случаев оксида фосфора, выступающего в роли промотора. Количество соединений фосфора определяется эмпирически и в составе катализатора обычно не превышает 1 % масс. В качестве промоторов также могут выступать бор, индий, олово, галлий и оксид цинка [13, 19].

1.6 Технология процесса гидроочистки дизельного топлива

Промышленные установки процесса гидроочистки дизельной фракции включают в себя определенные технологические блоки.

Основным блоком установки гидрообессеривания является реакторный блок. В состав данного блока входят рекуперативные теплообменники, используемые для нагрева реагирующей газосырьевой смеси, трубчатая печь, один или два реактора (в зависимости от мощности установки гидроочистки), контур ЦВСГ и компрессоры. сепараторы для разделения смеси на жидкие продукты реакции, углеводородные газы и ЦВСГ.

До тех пока требование к содержанию серы в дизельном топливе было низким, на производстве применяли одnoreакторную схему гидроочистки для достижения необходимого химического превращения [14]. Требуемая глубина обессеривания достигалась непосредственным варьированием управляющими параметрами процесса, а именно температурой сырья, давлением в реакторе, объемной скоростью подачи сырья и кратностью циркуляции ВСГ.

В связи с ужесточением требований [3] к содержанию сераорганических соединений в ДФ, глубина обессеривания достигалась за счет увеличения времени пребывания газосырьевой смеси в реакторе, для этого используют два или три последовательно работающих реакторов (Рисунок 1.3).

В процессе гидроочистки тяжелой дизельной фракции нашла применение трехреакторная схема переработки, которая обеспечивает низкое содержание серы в ДФ (Рисунок 1.2) [15]. По данной схеме дизельное топливо разделяют в ректификационной колонне на легкую и тяжелую фракцию соответственно температурам кипения ($180 \div 300$ °С, $300 \div 360$ °С) тем самым проводится раздельный гидрогенолиз фракций, что способствует глубокой гидроочистке сырья. Недостатком такого технологического решения является жесткая граница разделения фракции, которая не позволяет учесть содержание сераорганических веществ и интенсивность реакций гидрогенолиза.

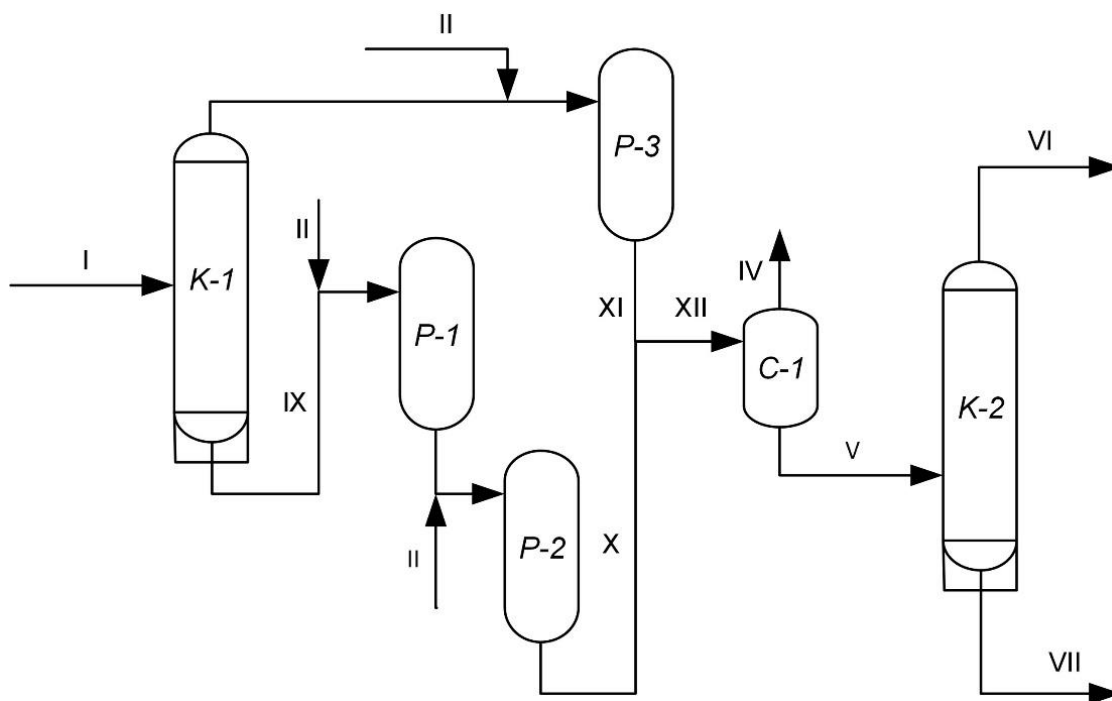


Рисунок 1.3 – Трехреакторная схема реализации реакторного блока установки гидроочистки

Аппараты: P-1,2,3 – реакторы гидроочистки; K-1 – ректификационная колонна; K-2 – колонна-стабилизатор; C-1 – сепаратор.

Потоки: I – сырье; II – ВСГ; IV – ВСГ с сероводородом; V – нестабильный гидрогенизат; VI – УВГ; VII – стабильный гидрогенизат; VIII – фракция $180 \div 300$ °С; IX – фракция $300 \div 360$ °С; X, XI – продукты реакции.

Следующий блок – стабилизационный, в который входят теплообменники, стабилизационные колонны, функция которых заключается в разделении бензина-отгона и стабильной дизельной фракции.

Третьим блоком является абсорбционная очистка в нескольких абсорберах колонного типа циркулирующего ВСГ и углеводородных газов от H_2S 10 – 15 % -ным раствором моноэтаноламина (МЭА), поглощающего сероводород.

Заключительным блоком установки гидроочистки является блок регенерации насыщенного раствора моноэтаноламина, в состав которого входит десорбер, ребойлер и теплообменники.

На рисунке 1.4 представлена принципиальная технологическая схема установки гидроочистки дизельной фракции.

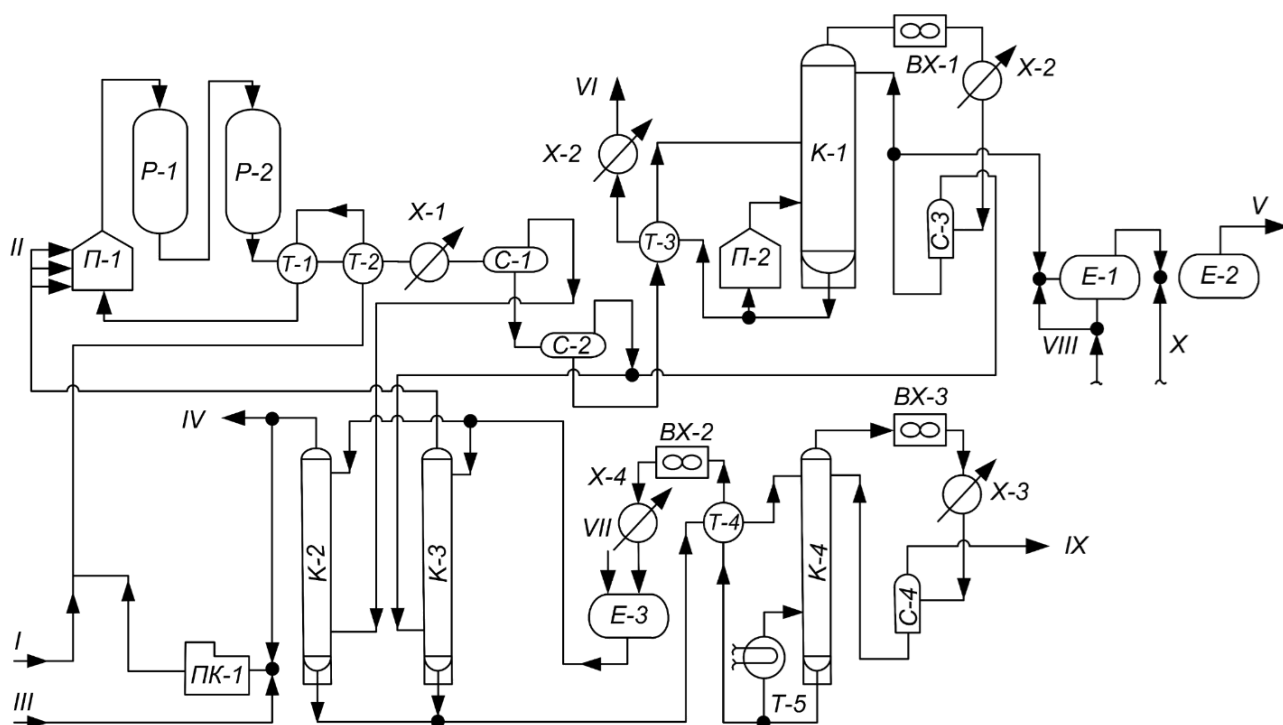


Рисунок 1.4 – Принципиальная технологическая схема установки гидроочистки дизельной фракции

Аппараты: П-1, 2 – трубчатая печь; Р-1, 2 – реакторы; К-1 – колонна стабилизации; К-2, 3 – абсорберы; К-4 – отгонная колонна; Т-1, 2, 3, 4 – рекуперативные теплообменные аппараты;

Т-5 – ребойлер; Х-1, 2, 3, 4 – холодильные аппараты; ВХ-1, 2, 3 – конденсатор-холодильники; ПК-1 – компрессор; С-1, 2, 3, 4 – сепараторы; Е-1, 2 – емкостные резервуары.

Потоки: I – сырье; II – углеводородный газ; III – свежий ВСГ; IV – отдуваемый ВСГ; V – бензин-отгон; VI – стабильное дизтопливо; VII – МЭА; VIII – щелочь; IX – H_2S ; X – H_2O .

Прямогонная дизельная фракция ($180 \div 360^\circ C$) смешивается с ЦВСГ. Образованная газосырьевая смесь последовательно нагревается в сырьевом и газопродуктовом рекуперативном теплообменнике, затем подается в печь, где

происходит нагрев до температуры реакции (не выше 400 °С). Далее, нагретая газосырьевая смесь поступает в реакторы. Полученные продукты реакции после реакторов отдают свое тепло газосырьевому потоку, проходят через холодильник Х-1 на разделение в горячий сепаратор высокого давления С-1.

Циркуляционный водородсодержащий газ отделяется и поступает для очистки от сероводорода раствором моноэтаноламина в абсорбер колонного типа К-2, после чего очищенный ЦВСГ направляется в рецикл на смешение с сырьем поршневым компрессором ПК-1. Постоянная концентрация водорода в ЦВСГ (не менее 70 % об.) обеспечивается частичным отводом в топливную сеть завода, а также его смешением со свежим ВСГ.

После сепаратора С-1 в гидрогенизате растворены такие газы, как CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} и H_2 . Для их разделения, поток направляется в холодный сепаратор низкого давления С-2, где от гидрогенизата отделяется часть растворенных углеводородных газов и для окончательной стабилизации подается в стабилизационную колонну К-1 через теплообменный аппарат Т-3 под собственным давлением. С верха колонны стабилизации К-1 отводят пары бензина-отгона и газ в воздушный холодильник-конденсатор ВХ-1, где они конденсируются и охлаждаются в холодильнике Х-2, затем подаются на разделение в сепаратор С-3, где бензин отстаивается от водяного конденсата, который используется для отдува H_2S в деаэраторе. После сепаратора газ направляется на очистку от сероводорода в абсорбер колонного типа К-3. Отделенный бензин направляется на очистку от H_2S раствором щелочи. Очищенная стабильная дизельная фракция отводится с установки в товарный парк, предварительно отдав тепло теплообменнику Т-3 и охладившись в холодильнике Х-2.

После очистки насыщенный кислыми газами МЭА направляется в блок регенерации и подается в десорбер (отгонная колонна К-4) для восстановления. Температура в отгонной колонне поддерживается раствором моноэтаноламина, проходящего через рибойлер Т-5. Охлажденный сероводород используется при получении серы на установках Клауса.

1.7 Расчетные методы определения физико-химических свойств дизельной фракции

1.7.1 Расчет средней молекулярной массы дизельной фракции

Определение молекулярной массы экспериментальным методом является достаточно трудоемким процессом, вследствие применения криоскопического метода, поэтому на практике удобнее использовать расчетные формулы [16].

Для определения средней молекулярной массы дизельной фракции предварительно рассчитывают среднюю молярную температуру кипения [16]:

$$T_{\text{ср.м.}} = t_{\text{ср.об.}} + \Delta T, \quad (1.16)$$

$$t_{\text{ср.об.}} = 0,1 \cdot t_{10} + 0,4 \cdot t_{50} + 0,4 \cdot t_{90} + 0,1 \cdot t_{95}, \quad (1.17)$$

где $T_{\text{ср.м.}}$ – средняя молярная температура кипения, °C; $t_{\text{ср.об.}}$ – средняя объемная температура кипения, °C; t_{10} – температура выкипания 10 % об., °C; t_{50} – температура выкипания 50 % об., °C; t_{90} – температура выкипания 90 % об., °C; t_{95} – температура выкипания 95 % об., °C.

Поправка ΔT рассчитывается следующим образом [16]:

$$\Delta T = \frac{5}{9} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=0}^2 a_{ij} \alpha_F^i T_F^j \quad (1.18)$$

$$T_F = 1.8 \cdot (t_{\text{ср.об.}} + 273) + 32 \quad (1.19)$$

$$\alpha_F = 1.8\alpha \quad (1.20)$$

$$\alpha = \frac{t_{90} - t_{10}}{80} \quad (1.21)$$

Коэффициенты a_{ij} принимаются со следующими значениями [16]:

$$\begin{pmatrix} -10.02 & 0.66927\text{e-}2 & -7.01419\text{e-}7 \\ -0.827035 & 0.7712\text{e-}3 & -1.1169\text{e-}6 \\ 0 & 0 & 0 \\ -3.9394\text{e-}2 & 4.8532\text{e-}5 & -1.137\text{e-}8 \end{pmatrix}$$

Расчет средней молекулярной массы осуществляется по формуле [16]:

$$M = (7K - 21.5) + (0.76 - 0.04K)t_{\text{ср.м.}} + (0.0003K - 0.00245)t_{\text{ср.м.}}^2, \quad (1.22)$$

где $t_{\text{ср.м.}}$ – средняя молярная температура кипения, °С; K – характеристический фактор; M – молекулярная масса фракции, г/моль.

Характеристический фактор определяется по формуле [16]:

$$K = \frac{1,216 \sqrt[3]{T_{\text{ср.м.}}}}{\rho_{15}^{15}}, \quad (1.23)$$

где $T_{\text{ср.м.}}$ – средняя молярная температура кипения, К; ρ_{15}^{15} – относительная плотность нефтепродукта, $\rho_{15}^{15} = 0.01044 + 0.9915 \cdot \rho_4^{20}$.

1.7.2 Расчет критических параметров

Критические свойства, особенно критическая температура и давление, ацентрический фактор являются важными входными параметрами для обобщенных корреляций и оценки физических и термодинамических свойств жидкостей. Даже небольшие ошибки в предсказании этих свойств сильно влияют на расчетные физические свойства. Рассмотренные методы находят широкое применение в нефтяной промышленности.

1.7.2.1 Метод Риизи

Уравнения, используемые в данном методе, применимы только для углеводородов в диапазоне молекулярных масс $70 \div 300$ [17]:

$$T_C = 19.06232 \cdot T_b^{0.58848} \cdot SG^{0.3596} \quad (1.24)$$

$$SG = 0.01044 + 0.9915 \cdot \rho_4^{20} \quad (1.25)$$

где T_C – критическая температура, К; T_b – температура кипения, К; SG (specific gravity) – плотность при 15 °С, г/см³; ρ_4^{20} – плотность при 20 °С, г/см³.

$$P_C = 5.53027 \cdot 10^7 \cdot T_b^{-2.3125} SG^{2.3201} \quad (1.26)$$

где P_C – критическое давление, бар.

1.7.2.2 Метод Ли-Кеслера

Кеслер и Ли предложили корреляции для оценки T_c и P_c , аналогичные их корреляциям по молекулярной массе.

Эти уравнения были выведены для сохранения внутренней последовательности между T_c и P_c , что при P_c , равном 1 атм, T_c совпадает с нормальной температурой кипения T_b . Корреляции рекомендованы для молекулярного диапазона 70-700 (~ C5-C50) [17]:

$$T_c = 189.8 + 450.6 \cdot SG + (0.4244 + 0.1174 \cdot SG) \cdot T_b + (0.1441 - 1.0069 \cdot SG) \cdot \frac{10^5}{T_b} \quad (1.27)$$

$$\ln P_c = 5.689 - \frac{0.0566}{SG} - \left(0.43639 + \frac{4.1216}{SG} + \frac{0.21343}{SG^2}\right) \cdot 10^{-3} \cdot T_b + \left(0.47579 + \frac{1.182}{SG} + \frac{0.15302}{SG^2}\right) \cdot 10^{-6} \cdot T_b^2 - \left(2.4505 + \frac{9.9099}{SG^2}\right) \cdot 10^{-10} \cdot T_b^3 \quad (1.28)$$

1.7.2.3 Метод Twu

Корреляции данного метода нашли широкое применение, поскольку Twu использовал критические свойства, рассчитанные по данным давления паров с целью расширения базы данных по критическим константам чистых углеводородов.

Методика расчета критических свойств и молекулярной массы представлены ниже [17]:

$$T_c^\circ = T_b \cdot (0.533272 + 0.34383 \cdot 10^{-3} \cdot T_b + 2.52617 \cdot 10^{-7} \cdot T_b^2 - 1.658481 \cdot 10^{-10} \cdot T_b^3 + 4.60773 \cdot 10^{-13} \cdot T_b^4)^{-1} \quad (1.29)$$

$$\alpha = 1 - T_b/T_c^\circ \quad (1.30)$$

$$P_C^\circ = \left(1.00661 + 0.31412 \cdot \alpha^{\frac{1}{2}} + 9.16106 \cdot \alpha + 9.5041 \cdot \alpha^2 + 27.35886 \cdot \alpha^4 \right)^2 \quad (1.31)$$

$$V_C^\circ = (0.34602 + 0.30171 \cdot \alpha + 0.93307 \cdot \alpha^3 + 5655.414 \cdot \alpha^{14})^{-8} \quad (1.32)$$

$$SG^\circ = 0.843593 - 0.128624 \cdot \alpha - 3.36159 \cdot \alpha^3 - 13749.5 \cdot \alpha^{12} \quad (1.33)$$

$$T_b = \exp \left(5.12640 + 2.71579 \cdot \beta - 0.286590 \cdot \beta^2 - \frac{39.8544}{\beta} - \frac{0.122488}{\beta^2} \right) - 13.7512 \cdot \beta + 19.6197 \cdot \beta^2 \quad (1.34)$$

$$\beta = \ln(M^\circ) \quad (1.35)$$

$$M^\circ = \frac{T_b}{5.8 - 0.0052 \cdot T_b} \quad (1.36)$$

Расчет критической температуры:

$$T_C = T_C^\circ \left[\frac{1 + 2 \cdot f_T}{1 - 2 \cdot f_T} \right]^2 \quad (1.37)$$

$$f_T \approx \Delta SG_T \left[-\frac{0.27016}{T_b^{\frac{1}{2}}} + \left(0.0398285 - \frac{0.706691}{T_b^{\frac{1}{2}}} \right) \cdot \Delta SG_T \right] \quad (1.38)$$

$$\Delta SG_T = \exp[5 \cdot (SG^\circ - SG)] - 1 \quad (1.39)$$

Расчет критического объема:

$$V_C = V_C^\circ \cdot \left[\frac{1 + 2 \cdot f_V}{1 - 2 \cdot f_V} \right]^2 \quad (1.40)$$

$$f_V = \Delta SG_V \cdot \left[\frac{0.347776}{T_b^{\frac{1}{2}}} + \left(-0.182421 + \frac{2.24889}{T_b^{\frac{1}{2}}} \right) \cdot \Delta SG_V \right] \quad (1.41)$$

$$\Delta SG_V = \exp[4 \cdot (SG^{\circ 2} - SG^2)] - 1 \quad (1.42)$$

Расчет критического давления:

$$P_C = P_C^\circ \cdot \left(\frac{T_C}{T_C^\circ} \right) \cdot \left(\frac{V_C^\circ}{V_C} \right) \left[\frac{1 + 2 \cdot f_P}{(1 - 2 \cdot f_P)} \right]^2 \quad (1.43)$$

$$f_p = \Delta SG_p \cdot \left[\left(2.53262 - \frac{34.4321}{T_b^{\frac{1}{2}}} - 2.30193 \cdot \frac{T_b}{1000} \right) + \left(-11.4277 + \frac{187.934}{T_b^{\frac{1}{2}}} + \frac{4.11963 T_b}{1000} \right) \cdot \Delta SG_p \right] \quad (1.44)$$

$$\Delta SG_p = \exp[0.5(SG^\circ - SG)] - 1 \quad (1.45)$$

Расчет молекулярной массы:

$$\ln(M) = (\ln M^\circ) \left[\frac{1 + 2 \cdot f_M}{1 - 2 \cdot f_M} \right]^2 \quad (1.46)$$

$$f_M = \Delta SG_M \cdot \left[\chi + \left(-0.0175691 + \frac{0.143979}{T_b^{\frac{1}{2}}} \right) \cdot \Delta SG_M \right] \quad (1.47)$$

$$\chi \approx \left| 0.012342 - \frac{0.244541}{T_b^{\frac{1}{2}}} \right| \quad (1.48)$$

$$\Delta SG_M = \exp[5 \cdot (SG^\circ - SG)] - 1 \quad (1.49)$$

1.7.3 Расчет качественных показателей

1.7.3.1 Метод API (Риази-Дауберт)

Для разработки метода прогнозирования состава фракций нефти без олефинов необходимы три уравнения, позволяющие получить фракции парафинов (x_P), нафтенов (x_N) и ароматических углеводородов (x_A). Первое и наиболее очевидное уравнение известно из материального баланса:

$$x_P + x_N + x_A = 1 \quad (1.50)$$

Анализ различных характеристических факторов, представленных в Таблицах 1.1 и 1.2, показал, что наиболее подходящими параметрами для определения типа углеводорода являются R_i и VGC . Например, если для чистого углеводорода $R_i = 1,04$, то это должен быть нафтеновый углеводород, он не

может быть парафиновым или ароматическим, поскольку только для нафтенной группы значения R_i находятся в диапазоне от 1,03 до 1,046.

Таблица 1.1 – Значения характеристических факторов [17]

Диапазон значений					
Тип углеводорода	M	R_i	VGC	K	I
Парафины	337-535	1,048-1,05	0,74-0,75	13,1-1,35	0,26-0,273
Нафтенны	248-429	1,03-1,046	0,89-0,94	10,5-13,2	0,278-0,308
Ароматические углеводороды	180-395	1,07-1,105	0,95-1,13	9,5-12,53	0,298-0,362

Таблица 1.2 – Сравнение характеристик различных параметров [17]

Параметр	Парафины	Нафтенны	Ароматические углеводороды
R_i	средний	низкий	высокий
VGC	низкий	средний	высокий
m	низкий	средний	высокий
SG	низкий	средний	высокий

$$R_i = 1.0482 \cdot x_P + 1.038 \cdot x_N + 1.081 \cdot x_A \quad (1.51)$$

$$VGC = 0.744 \cdot x_P + 0.915 \cdot x_N + 1.04 \cdot x_A \quad (1.52)$$

Одновременное решение системы уравнений (1.50, 1.51, 1.52) дает следующие уравнения для оценки состава PNA (парафины-нафтенны-ароматические углеводороды) фракций с массой $M > 200$ [17]:

$$\begin{aligned} x_P &= -9.0 + 12.53 \cdot R_i - 4.228 \cdot VGC \\ x_N &= 18.66 - 19.9 \cdot R_i + 2.973 \cdot VGC \\ x_A &= -8.66 + 7.37 \cdot R_i + 1.255 \cdot VGC \end{aligned} \quad (1.53)$$

Эти уравнения применимы к фракциям с молекулярной массой в пределах $200 \div 600$, а x_P , x_N и x_A , вычисленные из приведенных выше соотношений, могут представлять объемные, мольные или массовые доли.

Уравнения (1.53) не могут быть применимы к расчетам для легких фракций, имеющие кинематическую вязкость при 38°C . Для этого Риази и Дауберт определили параметр аналогичный VGC , называемый функцией вязкости и гравитацией VGF , характеризующийся следующими уравнениями [17]:

$$\begin{aligned} VGF &= -1.816 + 3.484 \cdot SG - 0.1156 \ln \vartheta_{38(100)} \\ VGF &= -1.948 + 3.535 \cdot SG - 0.1613 \ln \vartheta_{99(210)} \end{aligned} \quad (1.54)$$

где $\vartheta_{38(100)}$ и $\vartheta_{99(210)}$ – кинематическая вязкость при 38 и 99 °С, мм²/с.

Дальнейшие разработки позволили вывести уравнения, которые будут применимы для расчетов как для легких, так и для тяжелых фракций.

Для фракций массой $M \leq 200$ [17]:

$$\begin{aligned} x_P &= -13.359 + 14.459 \cdot R_i - 1.41344 \cdot VGF \\ x_N &= 23.9825 - 23.33304 \cdot R_i + 0.81517 \cdot VGF \\ x_A &= 1 - (x_P + x_N) \end{aligned} \quad (1.55)$$

Для фракций массой $M > 200$ [17]:

$$\begin{aligned} x_P &= 2.5737 + 1.0133 \cdot R_i - 3.537 \cdot VGC \\ x_N &= 2.464 - 3.6701 \cdot R_i + 1.96312 \cdot VGC \end{aligned} \quad (1.56)$$

Уравнения (1.55) и (1.56) рекомендуется использовать, если имеются экспериментальные данные по вязкости.

Для случаев, когда таких данных нет в доступе, Рирази и Дауберт вывели системы уравнений с новыми параметрами.

Для $M \leq 200$ [17]:

$$\begin{aligned} x_P &= 2.57 - 2.877 \cdot SG + 0.02876 \cdot CH \\ x_N &= 0.52641 - 0.7494 \cdot x_P - 0.021811 \cdot m \end{aligned} \quad (1.57)$$

Или

$$\begin{aligned} x_P &= 3.7387 - 4.0829 \cdot SG + 0.014772 \cdot m \\ x_N &= -1.5027 + 2.10152 \cdot SG - 0.02388 \cdot m \end{aligned} \quad (1.58)$$

Для $M > 200$ [17]:

$$\begin{aligned} x_P &= 1.9842 - 0.27722 \cdot R_i - 0.15643 \cdot CH \\ x_N &= 0.5977 - 0.761745 \cdot R_i + 0.068048 \cdot CH \end{aligned} \quad (1.59)$$

Или

$$x_P = -1.9382 + 0.074855 \cdot m - 0.19966 \cdot CH \quad (1.60)$$

$$\begin{aligned}
x_N &= -0.4226 - 0.00777 \cdot m + 0.107625 \cdot CH \\
x_{MA} &= -62.8245 + 59.90816 \cdot R_i - 0.0248335 \cdot m \\
x_{PA} &= 11.88175 - 11.2213 \cdot R_i + 0.023745 \cdot m \\
x_A &= x_{MA} + x_{PA}
\end{aligned} \tag{1.61}$$

1.7.3.2 Метод n-d-M

Данный метод применяется с использованием трех основных физических свойств фракций: коэффициент преломления (n_{20}), плотность при 20 °C (d_{20}) и молекулярная масса (M).

Метод n-d-M не дает напрямую состав PNA (парафины, нафтенy, ароматические углеводороды), но рассчитывает распределение углерода в парафинах (% C_P), нафтенах (% C_N), ароматических углеводородах (% C_A). Однако, поскольку углерод является доминирующим элементом в нефтяной смеси, предполагается, что распределение % C_P , % C_N , % C_A пропорционально распределению PNA. В этом предположении отношение углерода к водороду считается постоянным в различных классах углеводородов.

Методика расчета представлена ниже [17]:

$$\begin{aligned}
\%C_A &= a\vartheta + \frac{3660}{M} \\
\%C_N &= \%C_R - \%C_A \\
\%C_P &= 100 - \%C_R \\
R_A &= 0.44 + b\vartheta M
\end{aligned} \tag{1.62}$$

Где

$$\vartheta = 2.51 \cdot (n - 1.475) - (d - 0.851)$$

$$a = \begin{cases} 430 & \text{если } \vartheta > 0 \\ 670 & \text{если } \vartheta < 0 \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 0.055 & \text{если } \vartheta > 0 \\ 0.080 & \text{если } \vartheta < 0 \end{cases}$$

$$w = (d - 0.851) - 1.11 \cdot (n - 1.475)$$

$$\begin{aligned}
\%C_R &= \begin{cases} 820 \cdot w - 3 \cdot \%S + \frac{10000}{M} & \text{если } w > 0 \\ 1440 \cdot w - 3 \cdot \%S + \frac{10600}{M} & \text{если } w < 0 \end{cases} \\
R_T &= \begin{cases} 1.33 + 0.146 \cdot M \cdot (w - 0.005 \cdot \%S) & \text{если } w > 0 \\ 1.33 + 0.180 \cdot M \cdot (w - 0.005 \cdot \%S) & \text{если } w < 0 \end{cases} \\
x_P &= \frac{\%C_P}{100} \\
x_N &= \frac{\%C_N}{100} \\
x_A &= \frac{\%C_A}{100}
\end{aligned} \tag{1.63}$$

1.8 Математическое моделирование процесса гидроочистки дизельной фракции

Математическое моделирование является методом научного исследования, который основан на познании изучаемых процессов с помощью математической модели. Данный метод базируется на математическом подобии. У математически подобных объектов процессы обладают различной физической природой, но описываются идентичными уравнениями. Математическое моделирование позволяет:

- обеспечивать простоту перехода от одной задачи к другой, введение переменных параметров, возмущений и различных начальных условий;
- моделировать по частям, что особенно существенно при исследованиях сложных объектов химической технологии;
- использовать быстродействующую вычислительную технику, которая непрерывно совершенствуется;
- использовать меньше временных и материальных ресурсов для достижения цели.

Задачей математического моделирования процесса гидроочистки дизельного топлива является оптимизация и модернизация промышленных установок. Математическая модель позволяет учесть все кинетические

закономерности базы серосодержащих соединений, участвующих в реакциях гидрогенолиза.

К примеру, в данном исследовании [18] предлагается разделять дизельное топливо на легкую и тяжелую фракции, проводя при этом одну ступень гидроочистки в двух параллельно работающих реакторах. В рассматриваемой работе происходит распределение фракции на условные псевдокомпоненты, выбор которых не подкрепляется обоснованным содержанием сернистых соединений согласно температурам кипения в той или иной фракции. Данный недостаток сказывается на малой степени обессеривания нефтепродукта, ввиду непостоянных значений выхода общей серы в разных точках кипения узких фракций. Однако, следует отметить преимущество технологии, заключающееся в рациональной экономии использования катализатора, согласно делению дизельной фракции.

В следующей статье [19] математическая модель позволяет делать прогноз срока эксплуатации каталитической системы, рассчитывая при этом значения средней температуры катализатора в реакторе, за счет указания таких параметров, как значения объемного расхода сырья, содержание серы в сырье и продукте. Анализируя корреляции зависимости данных выходных параметров, авторы сделали вывод о влиянии технологических и качественных показателей на нужную температуру реакции в реакторе. Основываясь на данное исследование, можно утверждать, что модель не дает полного представления о процессе гидроочистки, как о многокомпонентном процессе, поскольку идентификация сераорганических соединений, рассматриваемых в данной работе, недостаточна для полного представления о химическом превращении веществ.

Автор данной публикации [20] провел идентификацию математической модели процесса гидроочистки с целью контроля энергетических ресурсов (расход топливного газа на нагрев печей), учитывая при этом требуемые значения показателей качества товарной продукции (содержание серы в гидрогенизате). Расчеты основываются на статистическом подходе к решению

оптимизации работы установки, выходные параметры были получены методом робастной регрессии, имеющие слабую корреляцию с реальными значениями на промышленной установке. В результате моделирования процесса гидроочистки не была учтена детерминированная часть модели, включающая физико-химические основы процесса гидроочистки, распределение сернистых соединений, подвергающихся гидрогенолизу, эффективные константы скоростей участвующих в процессе веществ.

В бакалаврской работе разработанная детерминированная математическая модель в нестационарном виде предполагает изменение активности катализатора с течением астрономического времени. Активность катализатора изменяется в зависимости от многих факторов таких, как количество кокса, откладывающегося на его поверхности, адсорбированного мышьяка, температуры процесса и т.д.

Произведен расчет, результаты которого описывают содержание ключевых углеводородных компонентов сырья гидроочистки, по данным фракционного состава сырья.

Также отличительной особенностью модели является подбор кинетических параметров процесса гидроочистки дизельного топлива с учетом следующих величин:

- остаточное содержание серы в дизельном топливе после гидроочистки;
- перепады температур по слоям катализатора для каждого реактора;
- выход продуктов:
 - дизельная фракция;
 - бензиновая фракция;
 - жирный газ.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Разрабатываемый проект направлен на разработку и составление математической модели в виде программного продукта для исследования и, главным образом, оптимизации процесса гидроочистки дизельного топлива.

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – это совокупность потенциальных клиентов, которые могут быть заинтересованы в продуктах или услугах вашей компании. Иначе, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками [22].

Сегментирование – это разделение рынка по определенным критериям, которые в конечном счёте обеспечивают однородные группы клиентов, с точки зрения особенностей, потребностей и поведения [23].

На Рисунке 4.1 представлена карта сегментирования рынка по виду оказываемой услуги с применением математической модели процесса каталитической гидроочистки дизельного топлива.

Критерием сегментирования может служить вид оказываемых услуг с применением математической модели процесса гидроочистки дизельного топлива:

1. Продажа программного продукта (ПО).
2. Оказание услуг по мониторингу и оптимизации процесса гидроочистки на нефтеперерабатывающих предприятиях.
3. Оказание услуг по обучению и переподготовки персонала на предприятии, т.е. компьютерного тренажера для исследования процесса гидроочистки дизельного топлива.

Потребитель	Вид услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по мониторингу и оптимизации	Продажа тренировочной версии
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Мелкие НПЗ			
Образовательные учреждения			
Проектные организации			

	– Aspen Technology, США
	– Нуптотех LTD, Канада
	– ChemFort, Россия

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования

В соответствии с данными карты сегментирования компании занимаются продажей своего программного обеспечения. Также нужно принять во внимание,

что данные компании занимаются разработкой моделей, предусматривающих в большей степени промышленную подготовку сырья, нежели переработку.

Ни одна из указанных фирм не занимается разработкой математической модели процесса каталитической гидроочистки дизельного топлива. Исходя из всего этого, можно сделать вывод, что наиболее перспективными на рынке математических моделей являются направления создания доступных по цене моделирующих систем, имеющих функции мониторинга и оптимизации действующих производств, в частности, процесса каталитической гидроочистки, а также возможность проведения прогнозирующих расчетов для действующих и строящихся производств.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

В ходе данного анализа были подобраны критерии и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Анализ конкурентных технических решений определялся по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

В Таблице 4.1 представлен сравнительный анализ математической модели (М), разработанной в рамках выполнения ВКР и двух конкурентных моделей Chemcad (K1) и Aspen Hysys (K2).

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _М	Б _{К1}	Б _{К2}	К _М	К _{К1}	К _{К2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности установки гидроочистки	0,25	5	2	2	1,25	0,5	0,5
2. Удобство в эксплуатации	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
3. Энергоэкономичность	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
4. Надежность	0,06	4	3	3	0,24	0,18	0,18
5. Безопасность	0,09	4	5	4	0,36	0,45	0,36
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Цена	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
7. Конкурентоспособность	0,2	4	3	3	0,8	0,6	0,6
8. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
9. Наличие сертификации разработки	0,02	1	5	4	0,02	0,1	0,08
Итого	1	36	34	29	4,22	3,23	3

По данным оценочной карты можно увидеть, что разрабатываемая математическая модель является потенциально конкурентоспособной ввиду ряда преимуществ, которые могут повысить производительность установки гидроочистки:

- способность прогнозирования работы промышленной установки каталитической гидроочистки дизельной фракции с учетом дезактивации катализатора;
- подбор оптимальных технологических условий с учетом нестационарности промышленного процесса, с целью продления срока службы катализатора, что является важной частью капитальных затрат производства;

- повышенная степень детализации модели, вследствие наличия модуля пересчета фракционного состава в групповой.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе SWOT анализа в Таблице 4.2 были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации проекта.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Актуальная проблема отечественной нефтепереработки; С2. Возможность проведения необходимых исследований без участия технологической установки процесса; С3. Чувствительность к изменению состава сырья; С4. Отсутствие аналогичных моделей по процессу; С5. Возможность оптимизации процесса гидроочистки дизельной фракции.	В1. Использование полученных данных предприятия нефтепереработки для оптимизации процесса производства; В2. Внедрение разработанной математической модели на НПЗ; В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт; В4. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки; Сл2. Длительность создания математической модели; Сл3. Значительные временные и интеллектуальные затраты	У1. Отсутствие спроса на данную модель; У2. Создание подобной модели на рынке в более краткие сроки; У3. Внедрение других подобных моделей на НПЗ по данному процессу.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям),

либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

	Сильные стороны						Слабые стороны		
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	Сл1	Сл2	Сл3
	B1	0	-	+	-	+	+	-	-
	B2	+	0	+	+	+	0	+	-
	B3	+	-	+	+	0	-	+	0
	B4	-	+	+	+	0	-	0	-

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица сильных сторон и слабых сторон и угроз

	Сильные стороны						Слабые стороны		
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+	+	+	-	+	-
	У2	+	+	+	+	+	+	+	-
	У3	+	+	+	+	+	+	+	-

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в Таблице 4.5.

Результатам анализа внешней и внутренней среды проекта будут учитываться при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.5 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны: С1. Актуальная проблема отечественной нефтепереработки; С2. Возможность проведения необходимых исследований без участия технологической установки процесса; С3. Чувствительность к изменению состава сырья; С4. Отсутствие аналогичных моделей по процессу; С5. Возможность оптимизации процесса гидроочистки дизельной фракции.	Слабые стороны: Сл1. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки; Сл2. Длительность создания математической модели; Сл3. Значительные временные и интеллектуальные затраты
Возможности: В1. Использование полученных данных предприятия нефтепереработки для оптимизации процесса производства; В2. Внедрение разработанной математической модели на НПЗ; В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт; В4. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.	Повышение эффективности использования сырья на предприятии. Благодаря использованию инновационной структуры ТПУ программа совершенствуется. Внедрение данной модели на предприятия является экономически выгодным, что способствует повышению спроса на разрабатываемый проект.	При внедрении данной модели на НПЗ, появится возможность своевременного получения необходимых экспериментальных данных, Внедрение модели на НПЗ обеспечит своевременное получение информации о сырьевых потоках повысит качество работы персонала и снизит длительность ведения процесса в связи с увеличением персонала.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на данную модель; У2. Создание подобной модели на рынке в более краткие сроки; У3. Внедрение других подобных моделей на НПЗ по данному процессу.	Продвижение программы с целью создания спроса на рынке. Создание конкурентных преимуществ готового продукта.	Заклучение договорённостей с предприятиями о поставке данных для проверки модели. Необходима дальнейшая разработка модели и её уточнение.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в Таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Создание кинетической модели	Бакалавр
	6	Составление математической модели	Руководитель, Бакалавр
	7	Проведение теоретических расчетов	Бакалавр
Разработка технической документации и проектирование	8	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр, консультант ЭЧ
	9	Разработка социальной ответственности по теме	Бакалавр, консультант СО
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Бакалавр

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки образуется исходя из трудовых затрат каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости определяется по формуле:

$$t_{ож\,i} = \frac{3 \cdot t_{min\,i} + 2 \cdot t_{max\,i}}{5}, \quad (4.2)$$

где $t_{ож\,i}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.; $t_{min\,i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{max\,i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , которая учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Величина T_p определяется по формуле:

$$T_{p\,i} = \frac{t_{ож\,i}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

где $T_{p\,i}$ – продолжительность одной работы, раб.дн.; $t_{ож\,i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для всех альтернатив проведения исследования трудоемкость выполнения работ одинаковая. Результаты определения трудоемкости выполнения работ представлены в Таблице 4.6.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобный способ представления графика проведения научных работ диаграмма Ганта, представляющая собой горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48, \quad (4.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Результаты расчетов представлены в Таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
		$t_{\min}$, чел–дни	$t_{\max}$, чел–дни	$t_{\text{ож}}$, чел–дни		Научный руководитель	Студент	Научный руководитель	Студент
1	Составление и утверждение плана работ	3	5	3,8	Научный руководитель	3,8	-	5	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	10	14	11,6	Студент	-	11,6	-	17

Продолжение Таблицы 4.7

3	Выбор направления исследования	3	5	3,8	Студент, научный руководитель	1,9	1,9	3	3
4	Календарное планирование работ	4	6	4,8	Студент, научный руководитель	2,4	2,4	3	3
5	Создание кинетической модели	3	5	3,8	Студент	-	3,8	-	5
6	Составление математической модели	20	30	24	Студент, научный руководитель	12	12	17	17
7	Проведение теоретических расчетов	10	14	11,6	Студент, научный руководитель	5,8	5,8	8	8
8	Оценка эффективности производства и применения разработки	5	7	5,8	Студент	-	5,8	-	8
9	Разработка социальной ответственности п теме	5	7	5,8	Студент	-	5,8	-	8
10	Оформление ВКР	7	10	8,2	Студент	-	8,2	-	12
Итого								36	81

По результатам расчетов, приведенных в Таблице 4.8, длительность работ в рабочих днях для руководителя и студента соответственно составляют 26 и 69, в календарных днях – 36 и 81.

Также по результатам Таблицы 4.8 был составлен график проведения научного исследования. Работы, выполняемые научным руководителем отмечены голубым цветом, работы студента – синим (Таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Календарный план-график проведения научных исследований

№ работ	Исполнитель	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																	
			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	НР	5																		
2	Ст	17																		
3	НР	3																		
	Ст																			
4	НР	3																		
	Ст																			
5	Ст	5																		
6	НР	17																		
	Ст																			
7	НР	8																		
	Ст																			
8	Ст	8																		
9	Ст	8																		
10	Ст	12																		

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям [24]:

- материальные затраты и накладные расходы;
- затраты на специальное оборудование для научных исследований;
- основная и дополнительная заработные платы исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты на научные и производственные командировки;

- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.2.4.1 Планирование материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расх_i}, \quad (6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расх_i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); $Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Принимаем $k_T = 20\%$ от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для проведения исследования приведены в Таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы ($З_m$), руб
Бумага	листов	100	1,5	180
Чернила для принтера	мл	100	1,1	132
Тетрадь	шт.	3	75	270
Ручка	шт.	4	35	168
Карандаш	шт.	2	20	48
Итого:				798

Суммарные материальные затраты составляют 798 рублей.

4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование

Для выполнения исследовательского проекта требуется приобрести персональный компьютер, ПО MicrosoftOffice 365 для создания документов.

Реализация математической модели выполнена на программном языке Python, среда для написания кода которого находится в открытом доступе. Также требуется получить экспериментальные данные с завода, запросив их на нефтеперерабатывающем заводе или проведя испытания самостоятельно на кафедре.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. Результаты расчетов представлены в Таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	ПО Microsoft Office	1	2,5			2,5		
2	Персональный компьютер	1	50	55	60	50	55	60
3	Принтер	1	4			4		
Итого:						56,5	61,5	66,5

4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Для расчета основной заработной платы необходим баланс рабочего времени (Таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	44	48
– праздничные дни	14	14

Потери рабочего времени		
– отпуск	48	24
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	259	275

Основная заработная плата работников $Z_{зп}$, непосредственно занятых выполнением НТИ, с учетом дополнительной (20 % от $Z_{осн}$) рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}. \quad (4.7)$$

Основная заработная плата $Z_{осн}$ рассчитывается исходя из продолжительности работ T_p (раб. дн.) и среднедневной заработной платы $Z_{дн}$ по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p. \quad (4.8)$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.9)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течении года; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (Таблица 10).

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.10)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,5; k_p – районный коэффициент, равный для Томска 1,3.

Результаты расчета основной заработной платы представлены в Таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	36000	0,3	0,5	1,3	84240	3382,61	36	121773,96
Студент	9300	-	-	1,3	12090	492,39	81	39883,81

Итого	161657,77
-------	-----------

Расчеты показали, что итоговая заработная плана составляет 161657,77 рублей.

4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (4.11)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (принимается равным 0,15). Тогда, дополнительная заработная плата руководителя и студента соответственно составляет 18266,1 и 5982,57 руб. По формуле (4.8) определили основную заработную плату с учетом дополнительной, которая для руководителя и студента соответственно составляет 140040,06 и 45866,38 руб.

4.2.4.5 Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, численно равный 30 %. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в Таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Заработная плата, руб.	$k_{\text{внеб}}$	Размер отчислений, руб.
Руководитель	140040,06	0,3	42012,01

Студент	45866,38		13759,91
Итого:			55591,92

4.2.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.13)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов принимаем равным 16 %.

С учетом принятого коэффициента накладные расходы составят:

$$\begin{aligned} З_{\text{накл}_{\text{исп}1}} &= (798 + 56500 + 121773,96 + 39883,81 + 55591,92) \\ &\cdot 0,16 = 274547,69 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} З_{\text{накл}_{\text{исп}2}} &= (798 + 61500 + 121773,96 + 39883,81 + 55591,92) \\ &\cdot 0,16 = 279547,69 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned} З_{\text{накл}_{\text{исп}3}} &= (798 + 66500 + 121773,96 + 39883,81 + 55591,92) \\ &\cdot 0,16 = 284547,69 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (4.16)$$

4.2.4.7 Формирование бюджета исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в Таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет бюджета затрат исследовательской работы

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1.	Исп.2.	Исп.3.	

1. Материальные затраты НТИ	798	798	798	Пункт 4.2.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	56500	61500	66500	Пункт 4.2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	121773,96	121773,96	121773,96	Пункт 4.2.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	39883,81	39883,81	39883,81	Пункт 4.2.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	55591,92	55591,92	55591,92	Пункт 4.2.4.5
6. Накладные расходы	274547,69	279547,69	284547,69	Пункт 4.2.4.6
Бюджет затрат НТИ	549095,38	559095,38	569095,38	Сумма ст.1-8

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности

Определение эффективности происходит на основе сравнения значений интегральных финансовых показателей, интегральных показателей ресурсоэффективности и интегрального показателя эффективности разработки, которые получают в ходе оценки бюджета затрат и сравнительной оценки характеристик трех (и более) вариантов разработок.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

где $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Для альтернатив разработки:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.1}} = \frac{549095,38}{569095,38} = 0,96, \quad (4.18)$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.2}} = \frac{559095,38}{569095,38} = 0,98, \quad (4.19)$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.2}} = \frac{569095,38}{569095,38} = 1. \quad (4.20)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad (4.21)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения. Результаты расчетов приведены в Таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Эффективность	0,35	4	5	5
2. Материалоемкость	0,2	5	4	3
3. Безопасность	0,15	5	5	5
4. Простота эксплуатации	0,1	5	5	5
5. Ремонтопригодность	0,2	4	5	5
Итого	1	4,45	4,8	4,6

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{фин.р}} \quad (4.22)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 4.16.

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.2}}}{I_{\text{исп.1}}}. \quad (4.23)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,96	0,98	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	4,8	4,6
3	Интегральный показатель эффективности	4,63	4,90	4,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,05	0,99

Из Таблицы 4.17 видно, что реализация технологии во втором исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1 Введение

В процессе принятия решений каждый руководитель несет ответственность за подчиненных. Охрана труда подразумевает систему сохранения здоровья и работоспособности работников в процессе трудовой деятельности. К нормативным актам, регулирующих вопросы охраны труда, в первую очередь относится Трудовой кодекс Российской Федерации, согласно которому устанавливаются права и обязанности работника и работодателя, регулируются вопросы охраны труда, закрепляются правила оплаты и нормирования труда, порядок разрешения трудовых споров.

Объектом исследования данной работы является технологическая установка гидроочистки дизельной фракции.

Сырьем для установки служит прямогонная дизельная фракция, поступающая на каталитическую установку гидроочистки после атмосферной перегонки.

Данная дипломная работа выполнялась в аудитории 133, расположенной на первом этаже учебного корпуса номер 2 Томского политехнического университета. Аудитория 133 оборудована 12 ЭВМ. Экспериментальная часть выпускной квалификационной работы осуществлялась на персональном компьютере (ПК). Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления и кондиционирования воздуха. Освещение рабочего места комбинированное – сочетание естественного света из окон кабинета и искусственного.

5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения

Основным нормативным документом, отражающим права и обязанности сотрудника и работодателя, является Федеральный закон «Об основах охраны

труда в Российской Федерации» от 17.07.1999 N 181-ФЗ. Настоящий Федеральный закон устанавливает правовые основы регулирования отношений в области охраны труда и направлен на создание условий труда, соответствующих требованиям сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности [25].

К основным нормативным документам также можно отнести Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» от 24.07.1998 N 125-ФЗ. Данный ФЗ устанавливает в Российской Федерации правовые, экономические и организационные основы обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний и определяет порядок возмещения вреда, причиненного жизни и здоровью работника при исполнении им обязанностей по трудовому договору и в иных установленных настоящим Федеральным законом случаях [26].

Для реализации приведенных выше законов приняты Постановления Правительства РФ «О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда», «О службе охраны труда», «О Федеральной инспекции труда» и др.

Также одним из основных документов, устанавливающих государственные гарантии трудовых прав и свобод граждан является «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ [27].

Основными задачами трудового законодательства являются создание необходимых правовых условий для достижения оптимального согласования интересов сторон трудовых отношений, интересов государства, а также правовое регулирование трудовых отношений и иных непосредственно связанных с ними отношений по:

- организации труда и управлению трудом;
- трудоустройству у данного работодателя;
- подготовке и дополнительному профессиональному образованию работников непосредственно у данного работодателя;

- социальному партнерству, ведению коллективных переговоров, заключению коллективных договоров и соглашений;
- участию работников и профессиональных союзов в установлении условий труда и применении трудового законодательства в предусмотренных законом случаях;
- материальной ответственности работодателей и работников в сфере труда;
- государственному контролю (надзору), профсоюзному контролю за соблюдением трудового законодательства (включая законодательство об охране труда) и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права;
- разрешению трудовых споров;
- обязательному социальному страхованию в случаях, предусмотренных федеральными законами.

Рассмотрим более подробно организацию рабочего места сотрудника. Правильная организация рабочего места оказывает непосредственное влияние на производительность труда. Повышению трудовой деятельности способствует просторное хорошо проветриваемое помещение, в котором соблюден баланс освещения. Согласно гигиеническим нормам, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [28] помещение в целом и рабочее место должны быть освещены достаточно и равномерно. При оборудовании рабочей зоны необходимо также учесть, что яркий солнечный свет порождает блики на мониторе, следовательно, существует потребность в установке жалюзи.

Так как трудовая деятельность в данном случае непосредственно связана с работой на ЭВМ, необходимо соблюдать меры безопасности, направленные на сохранение полноценного зрения сотрудника:

- экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;

- уровень глаз при вертикально расположенном экране должен приходиться на центр или $2/3$ высоты экрана. Линия взора должна быть перпендикулярна центру экрана и оптимальное её отклонение от перпендикуляра, проходящего через центр экрана в вертикальной плоскости, не должно превышать 5 градусов, допустимое 10 градусов.

Для того, чтобы минимизировать последствия «сидячей» работы, необходимо оборудовать рабочее место подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 градусов.

5.3 Производственная безопасность при разработке проектного решения

Так как вся работа выпускной квалификационной работы проводилась в компьютерной аудитории №133, проведем анализ вредных и опасных факторов именно для этого рабочего места.

5.3.1 Анализ потенциально вредных и опасных факторов

Производственная безопасность понимается, как система организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации математической модели процесса гидроочистки дизельной фракции. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [29].

В Таблице 5.1 представлены возможные вредные и опасные факторы, которые могут оказать влияние при моделировании и эксплуатации разрабатываемой модели процесса гидроочистки дизельной фракции

Таблица 5.1 – Потенциально вредные и опасные факторы при моделировании и эксплуатации модели гидроочистки дизельной фракции

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы
Статические физические нагрузки	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы
Нервно-психические нагрузки	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы
Перегрузка зрительного аппарата	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы
Повышенный уровень шума	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы
Производственные факторы, связанные с наличием электростатического поля и электромагнитных полей радиочастотного диапазона	+	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности
Производственные факторы, связанные с электрическим током	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
Пожарная опасность	+	+	+	Федеральный закон от 22.07.2013г. №123-ФЗ

Используя данные Таблицы 5.1, можно учесть опасные и вредные факторы, которые теоретически могут возникнуть при работе с объектом.

5.3.2 Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего

В процессе труда в производственном помещении человек находится под влиянием определенных метеорологических условий, или микроклимата – климата внутренней среды этих помещений.

Параметры микроклимата на рабочих местах и в производственных помещениях нормируются по трем основным показателям: температура воздуха, относительная влажность воздуха и скорость движения воздуха. Указанные параметры различны для теплого и холодного периодов времени. Соблюдение гигиенических требований к микроклимату производственных помещений в холодный период позволяет поддерживать на рабочем месте здоровую, благоприятную для организма человека обстановку.

В производственных помещениях, в которых работа с использованием персональных электронных вычислительных машин является должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте для помещений данных категорий приведены в Таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные характеристики микроклимата [30]

Период года	Категория работ по уровню затрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %
Холодный	Ia (до 139)	22 ÷ 24	60 ÷ 40
	Iб (140 – 174)	21 ÷ 23	60 ÷ 40
Теплый	Ia (до 139)	23 ÷ 25	60 ÷ 40
	Iб (140 – 174)	22 ÷ 24	60 ÷ 40

С целью защиты сотрудника от воздействия данного вредного фактора предусмотрены системы вентиляции и обогрева помещения. Также установлены нормы проветривания рабочего места.

Условия труда в компьютерной аудитории (ауд. 133) по показателям микроклимата соответствуют допустимым [30].

5.3.3 Статические физические перегрузки

Так как работы с персональными электронно-вычислительными машинами подразумевают сидячее положение сотрудника, они способны вызывать физические перегрузки статического характера.

К требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 касательно оптимального устройства рабочего места и минимальной физической нагрузки можно отнести следующие требования [28]:

- Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейноплечевой области и спины для предупреждения развития утомления.
- Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.
- Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.
- Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

5.3.4 Нервно-психические перегрузки

Нервно-психические перегрузки при работе с персональным компьютером могут быть вызваны рядом факторов, среди которых: нарушение микроклимата, монотонность труда, умственное перенапряжение, вызванное информационной нагрузкой и т.д.

Для контроля данного рода перегрузок предусмотрены перерывы в работе. При трудовой деятельности за персональным компьютером требуется после каждого часа устанавливать перерывы. Такие перерывы нужно включать в общее

рабочее время и не вычитать из продолжительности смены. Если установленный рабочий день равен 8 часам, то сумма времени на перерывы составляет от 50 минут до 1,5 часа. Если рабочее время составляет 12 часов, то от 80 до 140 минут. Регламентированные перерывы прописываются экспертами в картах спецоценки условий труда.

5.3.5 Перегрузка зрительного аппарата

Работы с персональным компьютером непосредственно связаны с перегрузками зрительного аппарата, вызванными длительным сосредоточенным наблюдением и световыми нагрузками. Для минимизации перегрузки зрительного аппарата необходимо учитывать нормы освещенности и расположение ПК.

5.3.6 Повышенный уровень шума

Повышенный уровень шума связан с работой агрегатов персонального компьютера. В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарноэпидемиологическими нормативами (Таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ [31]

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

Для уменьшения общего уровня шума шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы и т.п.), уровни шума которого превышают нормативные, должно размещаться вне помещений с ПЭВМ.

Условия труда по показателям шума соответствуют допустимым [31].

5.3.7 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Важное значение для создания благоприятных условий труда имеет рациональное освещение. Недостаточное освещение рабочего места затрудняет проведение работ, ведет к снижению производительности труда и может явиться причиной несчастных случаев.

Данный вредный фактор возникает при неправильном комбинировании света в рабочем помещении. Как указано выше, недостаточная освещенность рабочей зоны оказывает негативное воздействие на зрительную систему.

В компьютерной аудитории имеется естественное (боковое одностороннее) и общее равномерное искусственное освещение. Компьютеры расположены вдоль стен аудитории. Восемь компьютеров расположены так, что естественный свет падает сбоку по отношению к мониторам, а три компьютера расположены вдоль окон. В качестве источников искусственного освещения используются газоразрядные лампы.

Предусмотрены следующие нормы освещения при работе с ПК [28]:

- Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.
- Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).
- Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

- Следует ограничивать прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м².

- Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1-5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

Соблюдение данных требований способствует установлению светового баланса в рабочем помещении и минимизирует его воздействие на зрительный аппарат.

Условия труда по световому фактору соответствуют допустимым нормам согласно [28].

5.3.8 Производственные факторы, связанные с наличием электростатического поля и электромагнитных полей радиочастотного диапазона

Одним из вредных факторов, влияющих на здоровье человека, является ЭМП. Превышении допустимых уровней ЭМП приводит к вредному воздействию на иммунную, эндокринную, нервную системы человека. Влиянию ЭМП подвержены кровеносная система, иммунная и половая системы, головной мозг, глаза.

Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ на рабочем месте представлены в Таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ [36]

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 В/м

Уровни ЭМП на рабочем месте в 133 аудитории соответствуют допустимым уровням.

5.3.9 Производственные факторы, связанные с электрическим током

Электробезопасность установки должна обеспечиваться в любых возможных нормальных и аварийных эксплуатационных ситуациях. Источниками электрической опасности являются: оголенные части проводов или отсутствие изоляции, отсутствие заземления, замыкания, статическое напряжение.

В компьютерной аудитории эксплуатируется 11 компьютеров, подключенных к электрической сети 220 В и серверное оборудование, подключенное к сети 380 В. В лаборатории эксплуатируется оборудование для выполнения химических анализов, оборудование также подключается к сети 220 В во время работы.

Компьютерная аудитория и лаборатория второго корпуса ТПУ по опасности поражения электрическим током относятся к первому классу – помещение без повышенной опасности, т.к. температура в помещении не превышает 30 °С, относительная влажность воздуха не превышает 70 %, токопроводящие полы отсутствуют (полы выполнены из керамической плитки).

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме эксплуатации электроустановок в компьютерной аудитории и лаборатории применены следующие меры защиты, в соответствии с ПУЭ [32]:

- защитное заземление и зануление;
- изолирующие электрозащитные средства;
- устройства автоматического отключения питания.

Необходимо также проводить мероприятия по закреплению работниками правил безопасной работы с электрическим оборудованием.

Электробезопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц обеспечивается посредством выполнения следующих мероприятий: соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей путём ограждения токоведущих частей, применение блокировки аппаратов, предупреждающих надписей.

Для отключения электросетей на вводах должны быть рубильники. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, производится общим рубильником.

В целях предотвращения электротравматизма запрещается работать на неисправных электрических приборах и установках, перегружать электросеть, переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы, загромождать подходы к электрическим устройствам.

5.3.10 Пожарная опасность

Риск пожара в компьютерной аудитории связан в первую очередь с потенциальными перегрузками в электрической сети, которые способны вызвать возгорание компьютерной техники, а также с дефектами самой компьютерной техники. Пожарная безопасность для людей и имущества в случае возгорания в компьютерной аудитории обеспечивается за счет [33]:

- возможности эвакуации людей независимо от их возраста и физического состояния на прилегающую к зданию территорию;
- доступа личного состава пожарных подразделений и подачи средств пожаротушения к очагу пожара;
- нераспространения пожара на рядом расположенные здания;
- доступности огнетушителя углекислотного типа ОУ-5 для тушения всех видов горючих веществ, в том числе электрооборудования ≤ 10 кВ.

5.4 Экологическая безопасность при разработке проектного решения

В данном разделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Поскольку, со стороны экологической безопасности, суть работы заключается в использовании персонального компьютера, принтера, бумаги и других материальных ресурсов, следовательно, основное влияние на экологическую безопасность оказывают процессы их

утилизации. Так, бумажные отходы оказывают влияние на литосферу. Целесообразным решением вопроса утилизации бумаги является сбор макулатуры с целью вторичной переработки.

Одним из основных ресурсов, необходимым при выполнении работ являются различные источники света. Аудитория, в которой осуществлялась разработка проекта оснащена люминесцентными лампами, которые, согласно Постановлению Правительства РФ от 3 сентября 2010 г. N 681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде» необходимо утилизировать как ртутьсодержащие лампы [34].

Также значительное влияние на литосферу оказывает пластик, входящий в состав основных электронных устройств, используемых при выполнении работы. Влияние проводимых работ при разработке математической модели процесса гидроочистки дизельного топлива на селитебную зону, атмосферу и гидросферу минимально.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения

При работе с использованием ЭВМ потенциально опасной ЧС является пожар, который может возникнуть при перегрузках в электросети, износе электрических компонентов компьютеров, что может привести к изменению сопротивления компонентов и их перегреву [35].

Согласно НПБ 105-03 помещение компьютерной аудитории относится к категории П-2а. Характеристика веществ и материалов, находящихся в аудитории 133 второго корпуса ТПУ представлена в Таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Категория помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика вещества и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П-2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 МДж на 1 м ² .

Классификация возможных пожаров в соответствии с [37] представлена в Таблице 5.3

Таблица 5.3 – Возможные классы пожаров

Класс пожара	Характеристика
А	пожары твердых горючих веществ и материалов
Е	пожары горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением

В помещениях с компьютерной техникой, недопустимо применение воды и пены ввиду опасности повреждения или полного выхода из строя дорогостоящего электронного оборудования.

Для тушения пожаров необходимо применять углекислотные и порошковые огнетушители, которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем. Воду разрешено применять только во вспомогательных помещениях [35].

Предупреждение пожара обеспечивается следующими мероприятиями:

- закреплением знаний работников в сфере пожаробезопасности, обучением сотрудников правилам безопасной работы в лаборатории;
- периодическим надзором, осуществляемым должностными лицами органов управления и подразделений Государственной противопожарной безопасности;

- обеспечением помещений оборудованием для пожаротушения (углекислотный огнетушитель ОУ-5 1 шт., порошковый огнетушитель ОП-5 1 шт., асбестовое одеяло, песок);

- наличием систем оповещения о возникновении пожара, которые согласно ФЗ-123. НПБ 104-03 должны быть установлены в каждом помещении. Данные системы должны обеспечивать подачу звуковых оповещающих сигналов в случае обнаружения признаков пожара (задымление, повышенная температура). Необходимо выполнять периодическую проверку работоспособности системы оповещения о пожаре.

При возникновении пожара необходимо отключить систему вентиляции и питание электрооборудования, принять меры, направленные на тушение пожара и обеспечить эвакуацию студентов и сотрудников согласно плану эвакуации.

Вывод по разделу:

Проанализировав условия труда на рабочем месте, где выполнялась выпускная квалификационная работа можно сделать вывод, что аудитория удовлетворяет предъявляемым требованиям и нормам. При соблюдении техники безопасности и правил работы в аудитории, оборудованной ПК, данный вид работы не повлияет на здоровье работников.

Действие вредных и опасных факторов в аудитории сведено к минимуму. Микроклимат, освещение и уровень шума удовлетворяют требованиям. При соблюдении описанных в работе правил утилизации отходов, деятельность в аудитории не представляет опасности для экологии.

ВЫВОДЫ

В бакалаврской работе были произведены расчеты кинетических и термодинамических параметров реакций, протекающих в процессе гидроочистки дизельной фракции, методом решения обратной кинетической задачи.

На основании результатов проведенного термодинамического анализа реакций процесса, а также анализа предоставленных исходных данных по работе промышленной установки гидроочистки, была предложена формализованная схема химических превращений, обеспечивающая чувствительность модели к изменению технологических параметров.

В соответствии с формализованной схемой превращений разработана кинетическая модель процесса гидроочистки, представляющая систему из 24 дифференциальных уравнений. За основу описания процесса была принята модель идеального вытеснения.

Разработанная математическая модель позволяет производить расчет содержания остаточной серы в гидроочищенной дизельной фракции и прогнозировать температуру на входе в реактор по требуемому содержанию серы. Оценка адекватности модели была произведена путем сравнения расчетных и экспериментальных значений по температуре на выходе из реактора и остаточному содержанию серы.

Математическая модель содержит модуль пересчета фракционного состава в групповой. По промышленным данным фракционного состава было рассчитано содержание парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов. В сравнении с теоретическим содержанием ключевых углеводородов, результаты модели можно считать адекватными.

По расчетам, выполненными с помощью математической модели, можно сделать вывод о влиянии температуры, давления и ОСПС на остаточное содержание серы. При увеличении температуры в интервале $300 \div 340$ °C наблюдается уменьшение серы на выходе, вследствие увеличения скорости

реакций обессеривания. При увеличении давления до 52 кгс/см² содержание серы на выходе снижается по причине повышения парциального давления водорода. Увеличение ОСПС в диапазоне 3,0 – 3,8 ч⁻¹ поспособствовало увеличению серы в гидроочищенной дизельной фракции, вследствие уменьшения времени контакта сырья с поверхностью катализатора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Кауфман А.А. Технология переработки нефти, газа, и твердых горючих ископаемых: Учебное пособие // С.А. Ахметов, М.Х. Ишмияров, А.А. Кауфман. Под ред. С.А. Ахметова. – СПб.; Недра. 2009. – 832 с.
2. J. Ancheyta, A. Alvarez-Majmutov, C. Leyva. Hydrotreating of oil fractions // Multiphase Catalytic Reactors. – Mexico, 2016. – pp. 295-329.
3. ТС 013/2011. Технический регламент Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» (с изменениями на 19 декабря 2019 года). – М.: Стандартинформ, 2012. – 22 с.
4. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс] – Электрон. дан., 2022. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/activity/statistic>. – Дата обращения: 02.04.2022.
5. Гуров Ю.П., Гурова А.А. Гидрогенизационные процессы в нефтепереработке: учебное пособие // Ю.П. Гуров, А.А. Гурова. – Тюмень: ТИУ, 2018. – 73 с.
6. Авторский коллектив РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина под руководством к.т.н. Л.Н. Багдассарова. Популярная нефтепереработка. – М.: Платформа, 2016. – 59 с.
7. Кукурина О.С. Технология переработки углеводородного сырья: учебное пособие // О.С. Кукурина, А.А. Ляпков. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 168 с.
8. Бахарев М.С. Технологические процессы и оборудование для переработки углеводородов: справочник // гл. ред. П.М. Сорокин. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – 420 с.
9. Потехин В.М., Потехин В.В. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки: Учебник. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб: Издательство «Лань», 2022. – 896 с.

10. Jones D.S. Handbook of Petroleum Processing // Springer. – Massachusetts, USA, 2006. – 1356 p.

11. Патент №2313392 (RU). Катализатор гидрообессеривания дизельной фракции и способ его приготовления; авторы Климов Олег Владимирович, Аксенов Дмитрий Григорьевич, Коденев Евгений Геннадьевич, Ечевский Геннадий Викторович, Бухтиярова галина Александровна, Полункин Яков Михайлович, Пашигрева Анастасия Викторовна; патентообладатель Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук; дата подачи заявки: 13.10.2006; дата публикации патента: 27.12.2007.

12. Патент №2727144 (RU). Способ приготовления катализатора гидроочистки дизельного топлива; авторы Столярова Елена Александровна, Климов Олег Владимирович, Данилевич Владимир Владимирович, Носков Александр Степанович; патентообладатель Акционерное общество «Газпромнефть – Омский НПЗ» (АО «Газпромнефть – ОНПЗ»); дата подачи заявки: 17.01.2020; дата публикации патента: 21.07.2020.

13. Патент №2192923C2 (RU). Катализатор, содержащий фосфор, и способ гидроочистки нефтяного сырья с использованием этого катализатора; авторы Миньар Самюэль, Жорж-Маршаль Натали, Арле Виржини, Касзелян Славик; патентообладатель Энститю Франсэ Дю Петроль; дата подачи заявки: 07.11.1997; дата публикации патента: 20.11.2002.

14. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа. – М.: Химия, 2001. – 568 с.

15. Логинов С.А., Капустин В.М., Луговской А.И., Рудяк К.Б., Лебедев Б.Л. Промышленное производство высококачественных дизельных топлив с содержанием серы 0.035 и 0.05 % // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2001. № 11. 57-61 с.

16. Мановян А.К., Хачатурова Д.А., Лозин В.В. Лабораторная перегонка и ректификация нефтяных смесей. – М.: Химия, 1984. – 240 с.

17. Riazi M.R. Characterization and Properties of Petroleum Fractions // M.R. Riazi – 1st ed. – Philadelphia, 2005. – 461 p.

18. Жилина В.А., Самойлов Н.А. Математическое моделирование процесса раздельной гидроочистки предварительно фракционированного дизельного топлива // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». – 2021. №1. 146-172 с.

19. Великов С.В., Покровская С.В., Булавка Ю.А. Кинетические закономерности процесса гидрообессеривания дизельного топлива на установке Л-24/6 // Вестник Полоцкого университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2014. № 11. 153-159 с.

20. Хакимов Р.А. Идентификация математической модели процесса гидроочистки дизельного топлива для создания системы оптимизации группы технологических установок нефтеперерабатывающего завода // Омский научный вестник. – 2018. №4. 174-178 с.

21. Лахова А.И., Петрова А.Н., Петров С.М., Баранов Д.М. Гидрооблагораживание высокосернистых дизельных фракций // Вестник технологического университета. – 2015. №14. 99-103 с.

22. Что такое целевой рынок? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sendpulse.com/ru/support/glossary/target-market> (дата обращения 24.04.2022).

23. Сегментирование [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://spark.ru/startup/remeslo/blog/19863/segmentirovanie> (дата обращения 24.04.2022).

24. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Сери, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р.Тухватулина, З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014 – 36 с.

25. Федеральный закон от 17.07.1999 N 181-ФЗ «Об основах охраны труда в Российской Федерации» [Электронный ресурс] /http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1983/ (дата обращения 13.03.2022).

26. Федеральный закон от 24.07.1998 N 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» [Электронный ресурс] /http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19559/ (дата обращения 13.03.2022)

27. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ [Электронный ресурс] /http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения 13.03.2022)

28. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы (с изменениями на 21 июня 2016 года). – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 56 с.

29. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

30. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> – Дата обращения: 13.03.2022.

31. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2008. – 13 с.

32. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

33. ГОСТ 12.1.004. – 91. Пожарная безопасность.

34. Постановление Правительства РФ от 3 сентября 2010 г. N 681 "Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде» [Электронный ресурс] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_104420/ (дата обращения 13.03.2022).

35. Чрезвычайные ситуации при работе с ПЭВМ [Электронный ресурс] https://studopedia.ru/8_107307_osveshchenie-pomeshcheniy-vichislitelnihtsentrov.html (дата обращения 13.03.2022).

36. ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.

37. Федеральный закон от 22 июля 2013 г. № 123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644>, свободный. – Дата обращения: 27.04.2021 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Термодинамические и кинетические параметры химических реакций

№	Реакция	ΔH , кДж/моль	E_a , кДж/моль	Предэксп. множитель
1	$RSH + H_2 \rightarrow P(C_5 - C_{10}) + H_2S$	31,0521	150,10	8,00E+08
2	$RSR + H_2 \rightarrow RSH + H_2S$	31,0521	150,10	1,00E+05
3	$RSR + 2H_2 \rightarrow P(C_5 - C_{10}) + H_2S$	31,0521	150,10	5,00E+09
4	$RSSR + H_2 \rightarrow RSR + H_2S$	31,0521	150,10	1,00E+05
5	$RSSR + 2H_2 \rightarrow P(C_5 - C_{10}) + 2H_2S$	31,0521	150,10	3,80E+08
6	$T + 2H_2 \rightarrow G + H_2S$	31,0521	150,10	5,95E+08
7	$BT + 2H_2 \rightarrow Mar + H_2S$	31,0521	150,10	1,90E+09
8	$DiBT + 2H_2 \rightarrow DiAr + H_2S$	31,0521	150,10	2,45E+09
9	$Pirrol + 2H_2 \rightarrow G + NH_3$	19,2418	172,28	1,00E+10
10	$Piridin + 2H_2 \rightarrow P(C_5 - C_{10}) + NH_3$	19,2418	172,28	1,12E+09
11	$Karbazol + 2H_2 \rightarrow DiAr + NH_3$	19,2418	172,28	7,50E+10
12	$Indol + 2H_2 \rightarrow Mar + NH_3$	19,2418	172,28	3,99E+10
13	$Hinolin + 2H_2 \rightarrow Mar + NH_3$	19,2418	172,28	8,00E+09
14	$Mar + H_2 \rightarrow Naph$	41,4829	54,31	1,67E+01
15	$Mar \rightarrow DiAr + H_2$	-52,1629	80,00	1,00E-03
16	$DiAr + H_2 \rightarrow Mar$	43,2629	131,91	3,90E+08
17	$DiAr \rightarrow Par + H_2$	-52,1629	150,00	1,00E-03
18	$Par + H_2 \rightarrow DiAr$	45,0429	156,09	2,30E+10
19	$Par \rightarrow Coke + H_2$	-52,1629	180,00	1,00E-05
20	$Naph + H_2 \rightarrow P(C_5 - C_{10})$	80,1000	138,00	3,00E+07
21	$Naph + H_2 \rightarrow P(C_{11} - C_{23})$	80,1000	138,00	3,00E+07
22	$Naph + H_2 \rightarrow O(C_5 - C_{10})$	80,1000	138,00	1,00E+03
23	$Naph + H_2 \rightarrow O(C_{11} - C_{23})$	80,1000	138,00	1,00E+02
24	$O(C_5 - C_{10}) + H_2 \rightarrow P(C_5 - C_{10})$	89,9790	120,00	1,00E+05
25	$O(C_{11} - C_{23}) + H_2 \rightarrow P(C_{11} - C_{23})$	89,9790	138,15	1,10E+09
26	$P(C_{11} - C_{23}) + H_2 \rightarrow P(C_5 - C_{10})$	26,0859	56,41	5,80E+00
27	$P(C_5 - C_{10}) + H_2 \rightarrow G$	26,0859	139,46	2,00E+09