

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 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
 технологии, нефтехимии и биотехнологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Математическое моделирование процесса гидрокрекинга вакуумного газойля УДК 665.752.092.094.25:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2KM71	Бедарева Екатерина Константиновна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Белинская Наталия Сергеевна	к. т. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына Зоя Васильевна	к. т. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Самборская Марина Анатольевна	к. т. н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты освоения ООП

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Применять глубокие математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в области энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС ВО (ОК-1, ОК-2, ОК-3), СУОС ТПУ (УК-1, УК-2), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 40.011- Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам. Профессиональный стандарт 19.012 – «Специалист по оперативно-диспетчерскому управлению»
P2	Станвить и решать инновационные задачи производственного анализа и проектирования, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии с учетом минимизации антропогенного воздействия на окружающую среду.	Требования ФГОС ВО (ОПК-4, ОПК-5), СУОС ТПУ (УК-2, УК-6) <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 40.011- Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам. Профессиональный стандарт 19.012 – «Специалист по оперативно-диспетчерскому управлению нефтегазовой отрасли»
P3	Разрабатывать и проектировать новые технологические процессы на основе математического моделирования, проектировать и использовать энерго- и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС ВО (ОПК-2, ОПК-3, ПК-2, ПК-14), СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-5, УК-6) <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 40.011- Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам. Профессиональный стандарт 19.002 – «Специалист по химической переработке нефти и газа».
P4	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области разработки и оптимизации технологических процессов и систем с позиций энерго- и ресурсосбережения	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ОПК-3, ПК-5), СУОС ТПУ (УК-1, УК-6), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 40.011- Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам. Профессиональный стандарт 19.002 – «Специалист по химической переработке нефти и газа».

P5	Внедрять и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС ВО (ОК-2, ОПК-2, ОПК-3, ПК-5), СУОС ТПУ (УК-5, УК-6), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 19.002 - Специалист по химической переработке нефти и газа Профессиональный стандарт 19.0024 – «Специалист по контролю качества нефти и нефтепродуктов»
P6	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности, заниматься педагогической деятельностью в сфере профессионального образования.	Требования ФГОС ВО(ОК-1, ОК-3), СУОС ТПУ (УК-4, УК-5), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: Профессиональный стандарт 01.004 – «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
Профиль «Инжиниринг нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств»		
P7	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО (ОПК -3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16, ПК-17), СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, УК-3), , <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 19.002 – «Специалист по химической переработке нефти и газа».
P8	Проводить все стадии проектирования с использованием методов математического моделирования, коммерческих симуляторов и пакетов прикладных программ, в области ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств	Требования ФГОС ВО (ПК-18, ПК-19, ПК-20, ПК-21, ПК-22, ПК-23), СУОС ТПУ (УК-1, УК-2), , <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 19.002 - «Специалист по химической переработке нефти и газа».
P9	Разрабатывать учебно-методическую документацию, ставить новые лабораторные работы, проводить практические занятия по теме, ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств	Требования ФГОС ВО (ПК-25, ПК-26), СУОС ТПУ (УК-4, УК-5), , <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 01.004 - «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»

Министерство 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) Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
2КМ71	Бедаревой Екатерине Константиновне

Тема работы:

Математическое моделирование процесса гидрокрекинга вакуумного газойля
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)

от 13.02.2019 г. №1132/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:
--

28.05.2019 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

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

Объект исследования – процесс гидрокрекинга вакуумного газойля.

Исходные данные: технологическая схема процесса гидрокрекинга, технологические условия процесса, составы сырья и продукта.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Состояние и перспективы развития процесса гидрокрекинга нефтяного сырья в России – 1.2. Схемы химических превращений, предложенные на современном этапе развития исследований процесса гидрокрекинга нефтяного сырья 1.3. Математические модели, разработанные на современном этапе развития процесса гидрокрекинга нефтяного сырья 1.4. Технологии процесса гидрокрекинга нефтяного сырья, применяющиеся на современном этапе развития процесса 1.5. Постановка цели и задач исследования 2. Объекты и методы исследования <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Объект исследования 2.2. Методы исследования 3. Расчеты и аналитика <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Разработка математической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля 3.2. Совершенствование математической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля <ol style="list-style-type: none"> 3.2.1. Оценка реакционной способности н-парафинов в зависимости от числа атомов в молекуле 3.2.2. Оценка вероятности разрыва связей в различном положении в молекуле при гидрокрекинге н-парафинов 4. Результаты разработки
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Креницына Зоя Васильевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сотникова Анна Александровна</p>
<p>Раздел на английском языке</p>	<p>Макаровских Александра Викторовна</p>

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

The state and prospects of process development of crude oil hydrocracking in Russia

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

11.03.2019 г.

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Белинская Наталия Сергеевна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ71	Бедарева Екатерина Константиновна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2КМ71	Бедарева Екатерина Константиновна

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет научного исследования должен обеспечить полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Методические указания по разработке раздела
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные нужды в 2019 году составляют 27,1 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИ	1.1. Потенциальные потребители результатов исследования 1.2. Диаграмма Исикавы 1.3. Оценка готовности проекта к коммерциализации 1.4. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования
2. Разработка устава научно-технического проекта	2.1. Устав проекта 2.2. Организационная структура проекта

	2.3 Ограничения и допущения проекта
3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	3.1. Иерархическая структура проекта 3.2. Контрольные события проекта 3.3. План проекта 3.4. Бюджет научного исследования 3.5. Организационная структура проекта 3.6. Потенциальные риски
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Исикавы
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. График проведения и бюджет НИИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
6. Потенциальные риски

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Креницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ71	Бедарева Екатерина Константиновна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 2KM71	ФИО Бедарева Екатерина Константиновна
------------------------	---

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность» Математическое моделирование процесса гидрокрекинга вакуумного газойля

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объектом исследования является математическая модель процесса гидрокрекинга вакуумного газойля. Исследование предполагает расчеты и оптимизацию процесса на компьютерной моделирующей системе. Рабочая зона – компьютерный класс. Тренажерная система может быть применена как в образовательных учреждениях, так и на нефтеперерабатывающих заводах.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

*1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:
- отклонение показателей микроклимат*

*1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:
- Опасность поражения электрическим током
- Возникновение пожара*

2. Экологическая безопасность

*- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);*

	<p>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы)</p> <p>- проблема утилизации компьютеров и другой оргтехники;</p>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>К чрезвычайным ситуациям, которые могут произойти относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - пожар; - информационная безопасность
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>-Технический перерыв, организация рабочего места и правила работы. (ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере; ГОСТ Р ИСО 9241-4-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 4. Требования к клавиатуре). Нормативные документы: -СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Освещение; -СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха); -ГОСТ 12.1.006–84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности; -ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов; -ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление; -ГОСТ Р 56397-2015. Техническая экспертиза работоспособности радиоэлектронной аппаратуры, оборудования информационных технологий, электрических машин и приборов. Общие требования; -Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности; - ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ71	Бедарева Екатерина Константиновна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 121 с., 83 рис., 32 табл., 68 источников, 2 прил.

Ключевые слова: ГИДРОКРЕКИНГ, ВАКУУМНЫЙ ГАЗОЙЛЬ, РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ, ПАРАФИНЫ, ПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ, НАФТЕНЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Объект исследования – процесс гидрокрекинга вакуумного газойля, с помощью которого можно преобразовать компоненты тяжелого нефтяного сырья в моторные топлива и смазочные материалы высокого качества в условиях ужесточения экологических требований и повышения спроса на рынке.

Целью работы является математическое моделирование процесса гидрокрекинга вакуумного газойля с учетом реакционной способности реагирующих веществ.

В ходе данной работы проводилось исследование влияния реакционной способности углеводородов на процесс гидрокрекинга вакуумного газойля, а также оценивалась вероятность разрыва связи в данных молекулах.

Данная работа имеет практическое значение для оптимизации промышленного процесса гидрокрекинга вакуумного газойля, которая позволяет осуществить исследование без вмешательства в работу установки.

Область применения: нефтеперерабатывающие предприятия, где реализован процесс гидрокрекинга вакуумного газойля.

Экономическая значимость работы заключается в возможности оптимизации процесса путем подбора оптимального технологического режима, без вмешательства в работу установки.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

гидрокрекинг: это процесс переработки нефтяных остатков и дистиллятов при повышенных давлениях водорода и умеренных температурах проведения процесса, проводимый с использованием полифункциональных катализаторов.

моделирование химико-технологической системы: это количественный анализ процессов нефтехимии и нефтепереработки с помощью создания математических моделей.

Сокращения, обозначения

Данная работа содержит следующие обозначения и сокращения:

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

УВ – углеводороды

УВ ВМ – углеводороды высокомолекулярные

УВ НМ – углеводороды низкомолекулярные

DFT – Density Functional Theory

Нормативные ссылки

1. СТО 05766480 – 010 – 2011. Топливо дизельное. Технические условия.
2. ГОСТ 32511 – 2013 Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия.
3. ГОСТ Р 52368 - 2005 Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия.

Оглавление

Введение	15
1.1 Состояние и перспективы развития процесса гидрокрекинга нефтяного сырья в России.....	18
1.2 Схемы химических превращений, предложенные на современном этапе развития исследований процесса гидрокрекинга нефтяного сырья	22
1.3 Математические модели, разработанные на современном этапе развития процесса гидрокрекинга нефтяного сырья	31
1.4 Технологии процесса гидрокрекинга нефтяного сырья, применяющиеся на современном этапе развития процесса.....	36
1.5 Постановка цели и задач исследования	40
2 Объекты и методы исследования	41
2.1 Объект исследования	41
2.2 Методы исследования	43
2.2.1 Метод математического моделирования.....	43
2.2.2 Методы квантовой химии для расчета термодинамических свойств молекул	44
3 Расчеты и аналитика	47
3.1 Разработка математической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля	47
3.2 Совершенствование кинетической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля	50
3.2.1 Оценка реакционной способности n-парафинов в зависимости от числа атомов в молекуле	52
3.2.2 Оценка вероятности разрыва связей в различном положении в молекуле при гидрокрекинге n-парафинов	53
4 Результаты разработки.....	68
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	71
5.1 Предпроектный анализ.....	71
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	72
5.1.2 Диаграммы Исикавы	73
5.2.1 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	74
5.2.2 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	75
5.3 Инициация проекта	77
5.3.1 Цели и результат проекта.....	77
5.3.2 Организационная структура проекта.	78
5.3.3 Ограничения и допущения проекта.....	79
5.4 Планирование управления научно-техническим проектом	80
5.4.1 Иерархическая структура работ проекта	80
5.4.2 Контрольные события проекта	80

5.4.3 План проекта.....	81
5.4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	83
5.4.5 Организационная структура проекта.....	87
5.4.6 Потенциальные риски	88
5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	89
5.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследования	89
6 Социальная ответственность	93
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	94
6.2 Производственная безопасность	96
6.2.1 Анализ вредных факторов	97
6.2.2 Анализ опасных факторов	99
6.2.2.1 Электрический ток	99
6.2.2.2 Пожаробезопасность	100
6.2.3 Мероприятия по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя, необходимые лаборатории	102
6.2.3.1 Электробезопасность.....	102
6.2.3.2 Пожаробезопасность	103
6.2.3.3 Микроклимат	103
6.3 Экологическая безопасность	103
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	105
Заключение	108
Список публикаций студента:	109
Список используемых источников.....	110
Приложение А	117
Приложение Б.....	118

Введение

В последнее время все больше растет спрос на гидрогенизационные процессы, которые способны перерабатывать тяжелую нефть. Это связано прежде всего с истощением запасов легкоизвлекаемой нефти. Но тяжелое нефтяное сырье обладает рядом недостатков, которые затрудняют переработку, такими как: высокая вязкость и плотность, высокое содержание парафинов, смол и асфальтенов, серы и металлов (ванадия, никеля).

Для того чтобы решить задачу переработки тяжелой нефти, вводятся новые более мощные процессы, одним из которых является гидрокрекинг. Процесс гидрокрекинга позволяет перерабатывать высококипящие фракции (вакуумный газойль, атмосферный остаток) в более ценные продукты (бензин, керосин и малосернистое дизельное топливо) [1].

Также для процессов нефтепереработки возникает задача прогнозирования и оптимизации состава продуктов, зависящих от состава сырья, а также подбор оптимальных технологических условий для достижения высокого выхода продуктов без потери качества. Для этого разрабатывают математические модели, основанные на физико-химических свойствах процесса.

Актуальными являются исследования процесса гидрокрекинга вакуумного газойля с использованием математической модели, разработанной на основе учета термодинамических и кинетических закономерностей процесса, которые позволяют оптимизировать промышленный процесс, а также позволяют прогнозировать выход продуктов на основании реакционной способности углеводородов.

Хавкин В.А., Гуляева Л.А. и Чернышева Е.А. рассматривали особенности процессов легкого и глубокого гидрокрекинга вакуумных дистиллятов, а также исследовали влияние давления водорода на выход целевых продуктов.

В Казанском национальном исследовательском технологическом университете изучались реакции превращения углеводородов в процессе гидрокрекинга вакуумного газойля. Особое внимание уделялось реакциям удаления серы, азота, металлов, а также реакциям крекинга и гидрирования.

Калдероном К. и Анчетой Дж. была разработана математическая модель процесса гидрокрекинга на основе псевдокомпонентов.

Объект исследования – процесс гидрокрекинга вакуумного газойля, с помощью которого можно преобразовать компоненты тяжелого нефтяного сырья в моторные топлива и смазочные материалы высокого качества в условиях ужесточения экологических требований и повышения спроса на рынке.

Метод исследования процесса гидрокрекинга вакуумного газойля – метод математического моделирования.

Целью работы является математическое моделирование процесса гидрокрекинга вакуумного газойля с учетом реакционной способности реагирующих веществ.

Для достижения поставленной цели в работе были поставлены следующие задачи:

1. Сбор и обработка априорной информации об объекте исследования – процессе гидрокрекинга вакуумного газойля.

2. Разработка математической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля.

3. Совершенствование математической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля путем учета реакционной способности n-парафинов в зависимости от числа атомов в молекуле и вероятности разрыва связей в различном положении в молекуле при гидрокрекинге n-парафинов.

4. Проведение прогнозных и оптимизационных расчетов с применением разработанной модели.

Личный вклад заключается в исследовании реакционной способности и вероятности разрыва связи в углеводородах с целью дальнейшей оптимизации процесса гидрокрекинга и повышения выхода целевых продуктов.

Данная работа имеет практическое значение для оптимизации промышленного процесса гидрокрекинга вакуумного газойля, которая позволяет осуществить исследование без вмешательства в работу установки.

Результаты данной работы были апробированы на XIX и XX Международных научно-практических конференциях студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке» имени профессора Л.П. Кулева. Темой доклада являлась «Моделирование процесса гидрокрекинга вакуумного газойля».

1.1 Состояние и перспективы развития процесса гидрокрекинга нефтяного сырья в России

В России построено 28 крупных НПЗ и около 300 мини-НПЗ, мощность нефтепереработки на которых составляет 271 млн т/год [1].

В настоящее время перед российскими НПЗ поставлены следующие задачи [1]:

- 1) доведение нефтепродуктов до требуемого качества в соответствии с Техническим регламентом [2];
- 2) повышение глубины переработки нефти;
- 3) модернизация действующих установок глубокой переработки нефти;
- 4) обеспечение требуемой экологической и промышленной безопасности;
- 5) вывод из эксплуатации морально изношенного оборудования.

Глубина переработки нефти на российских нефтеперерабатывающих заводах составляет лишь 70-71 %, в то время как в развитых странах Запада – 85-95 % [1]. В настоящее время спрос на масла и дизельные топлива высокого качества постоянно растет. Повысить глубину переработки нефти до уровня стран Запада можно за счет внедрения гидрогенизационных процессов. Гидрокрекинг вакуумного газойля является одним из таких процессов.

Процесс гидрокрекинга нефтяного сырья позволяет перерабатывать тяжелые нефтяные остатки и получать дизельное топливо, авиационный керосин, прямогонный бензин высокого качества. Преимущество данного процесса перед другими процессами глубокой переработки нефтяного сырья в возможности получать широкий ассортимент нефтепродуктов, среди которых бензин, реактивное и дизельное топливо, а также сжиженные газы C_3-C_4 [3]. Гидрокрекинг вакуумного газойля – это перспективный и экономически эффективный процесс нефтепереработки.

Выделяют 2 основных вида гидрокрекинга: «легкий» и «глубокий» гидрокрекинг.

Рассмотрим каждый вид процесса гидрокрекинга более подробно.

Степень конверсии в «легком» гидрокрекинге составляет от 10 % до 50 %, давление процесса 5-10 МПа. Продуктами данного процесса являются летнее малосернистое дизельное топливо и малосернистое сырье каталитического гидрокрекинга [3].

«Глубокий» гидрокрекинг протекает при двух технологических режимах:

1) при давлении 10-12 МПа. Основными продуктами являются компоненты дизельного топлива;

2) при давлении 15-20 МПа. Продуктами являются компоненты реактивного топлива и дизельного топлива.

В России введено в эксплуатацию несколько установок гидрокрекинга. Рассмотрим эти установки и условия проведения процесса на них:

1) В городе Уфа на нефтеперерабатывающем заводе по технологии «IFP» при давлении 15 МПа получают дизельное топливо, сырьем является вакуумный дистиллят.

2) На нефтеперерабатывающих заводах таких городов, как Пермь и Ярославль, в результате гидрокрекинга вакуумного газойля получают сырье каталитического крекинга, предварительно гидроочищенное, и дизельное топливо с малым содержанием серы.

3) На Киришском НПЗ и в ОАО «Танеко» запущены установки гидрокрекинга, продуктами процесса являются средние дистилляты с малым содержанием серы. Давление проведения процесса – 15 МПа.

4) Установка гидрокрекинга масляных дистиллятов, работающая при давлении 30 МПа, введена в эксплуатацию в ОАО «Ангарская НХК».

5) В Волгограде на нефтеперерабатывающем заводе запущена установка изокрекинга масляных дистиллятов компании Chevron.

В настоящее время на Рязанском НПК планируется ввод в эксплуатацию установки гидрокрекинга, продуктами которой являются средние дистилляты [4].

Процессы, планируемые для ввода в России до 2020 года, представлены ниже в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Ввод процессов гидрокрекинга на российские НПЗ, намеченных до 2020 года [4]

Процесс	Суммарная мощность, млн т/год	Число установок
Процессы, углубляющие переработку		
Гидрокрекинг вакуумного газойля	48,8	16
Гидрокрекинг нефтяных остатков	15,7	6

К 2020 году в России планируется ввод 16 установок гидрокрекинга вакуумного дистиллята и 6 установок гидрокрекинга нефтяных остатков (таблица 1.1).

В городе Нижнекамск в декабре 2011 года введен в эксплуатацию нефтеперерабатывающий завод ОАО «ТАНЕКО». Мощность данного НПЗ составляет 7 млн.т/год [5]. Установка гидрокрекинга, являющаяся главным ключевым компонентом завода, позволяет получать высококачественное топливо из любого тяжелого нефтяного остатка. Сырьем процесса является 2,9 млн.т вакуумного газойля, а продуктами – 1,16 млн.т дизельного топлива Евро-4,-5, 380 тыс. авиационного керосина марки «Jet», более 600 тыс. прямогонного бензина и гидроочищенного газойля.

Ввод установки гидрокрекинга позволит увеличить глубину переработки нефтяного сырья в России с 73 % до 97 %.

На данном НПЗ предполагается 2 этапа работы установки гидрокрекинга:

1) завод работает на смеси нефтей – 75 % девонской и 25 % карбоновой нефти. Осуществляется переработка прямогонного вакуумного газойля;

2) завод работает на 100%-ой карбоновой нефти. Осуществляется переработка прямогонного вакуумного газойля и тяжелого газойля коксования.

С целью повышения глубины переработки нефтяного сырья с 2011 года был запущен проект по модернизации действующего оборудования и строительство новых установок на Ильском НПЗ, что позволит увеличить глубину переработки нефти до 95 %.

В 2018 году была запущена установка гидрокрекинга, мощность которой составила 1 млн.т/год. Целью внедрения данной установки является получение высококачественного дизельного топлива класса Евро-5 и достижения глубины переработки нефтяного сырья не ниже 98 % [6].

В настоящее время ведется строительство комплекса гидрокрекинга вакуумного газойля на ЗАО «Рязанская НПК». Мощность данного комплекса составляет 2200 тыс.т/год и включает в себя блок отпарки кислой воды и регенерации амина [7]. Материальный баланс процесса, а также сырье и продукты представлено ниже в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Материальный баланс гидрокрекинга вакуумного газойля

Сырье	
Тяжелый вакуумный газойль	97,5
Подпиточный водород	2,5
Итого	100
Продукты	
Углеводородный (топливный газ)	3,3
Сжиженный углеводородный газ	1,0
Легкая нефтя	5,5
Тяжелая нефтя	8,7
Керосин	18,1
Дизельное топливо	29,2
Непревращенный остаток	31,4
Потери	2,7

Итого	100
-------	-----

Как видно из обзора современных российских статей по процессу гидрокрекинга, данный процесс является перспективным и развивающимся. Гидрокрекинг – это основной гидрогенизационный процесс, который позволяет повысить глубину переработки нефтяного сырья, а также получать широкий спектр нефтепродуктов.

1.2 Схемы химических превращений, предложенные на современном этапе развития исследований процесса гидрокрекинга нефтяного сырья

Гидрокрекинг – это процесс переработки нефтяных остатков и дистиллятов при повышенных давлениях водорода и умеренных температурах проведения процесса, проводимый с использованием полифункциональных катализаторов [10].

На современном этапе развития реализованы несколько типов процесса гидрокрекинга [10]:

1) гидрокрекинг фракций бензина. Цель – получение легких изопарафиновых углеводородов, которые являются ценным сырьем для производства синтетического каучука, также присадок, повышающих октановое число бензинов;

2) селективный гидрокрекинг. Цель – повышение октанового числа, понижение температуры застывания реактивных и дизельных топлив;

3) гидродеароматизация прямогонных керосиновых фракций. Цель – снижение содержания в них ароматических углеводородов;

4) легкий гидрокрекинг вакуумного газойля. Цель – облагораживание сырья каталитического крекинга и получение дизельных фракций;

5) гидрокрекинг вакуумных дистиллятов. Цель – получение моторных топлив;

б) гидрокрекинг нефтяных остатков. Цель – получение котельных топлив, с малым содержанием серы, а также смазочных масел и моторных топлив.

Гидрокрекинг – это процесс, в котором осуществляются одновременно реакции гидрогенолиза, дегидро-гидрирования и крекинга. Причем данные реакции протекают без образования нежелательного побочного продукта – кокса [10].

Основными реакциями процесса гидрокрекинга являются [10]:

- гидрогенолиз соединений азота, серы, кислорода и гидрирование ароматических углеводородов;
- крекинг парафинов и нафтенов, деалкилирование циклических структур, а также изомеризация низкомолекулярных парафинов.

Согласно [11] превращение сырья в условиях данного процесса протекает по следующим направлениям. Первыми гидрогенолизу подвергаются неуглеводородные соединения, такие как H_2O , NH_3 и H_2S – они удаляются первыми. В тоже время происходит гидрирование углеводородов, имеющих ненасыщенный характер. Нафтены и полициклические ароматические углеводороды гидрируются в замещенные моноциклические, парафины подвергаются изомеризации и последующему расщеплению. Значительно труднее и медленнее происходит насыщение последнего ароматического кольца и гидрогенолиз парафинов и нафтенов в более жестких условиях или в присутствии более активного катализатора [11]. Ниже на рисунке 1.1 представлена схема превращения углеводородов в процессе гидрокрекинга, а также соотношение скоростей различных реакций процесса [11].

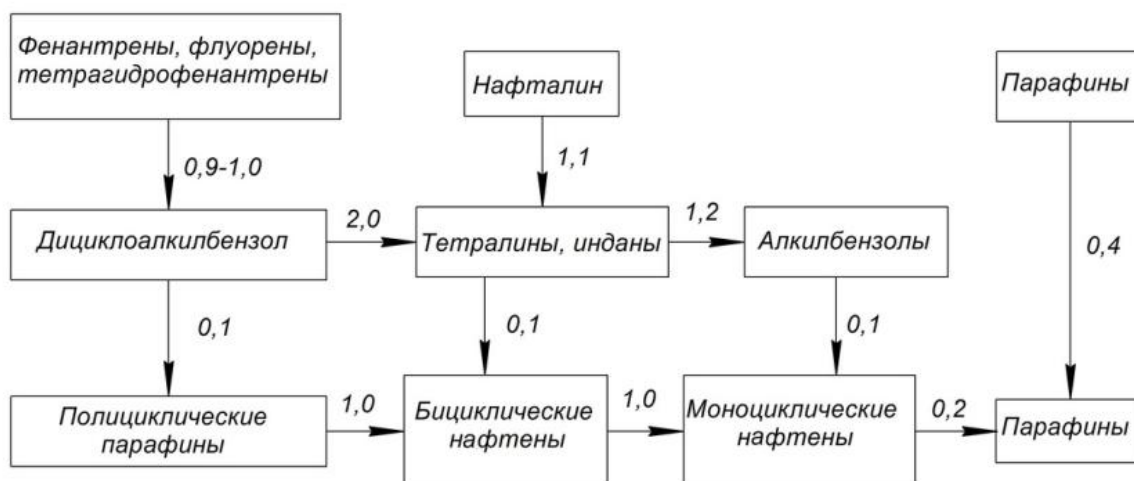


Рисунок 1.1 – Схема превращения углеводородов в условиях процесса гидрокрекинга

В процессе гидрокрекинга нефтяных остатков сырье предварительно подвергается деметаллизации и гидрообессериванию. Целью является удаление тяжелых металлов и соединений, содержащих серу, азот, кислород. Это осуществляется для того, чтобы продлить срок службы катализатора.

Для данного процесса используются бифункциональные катализаторы, это объясняется механизмом процесса гидрокрекинга, представлены ниже на рисунке 1.2 [12].

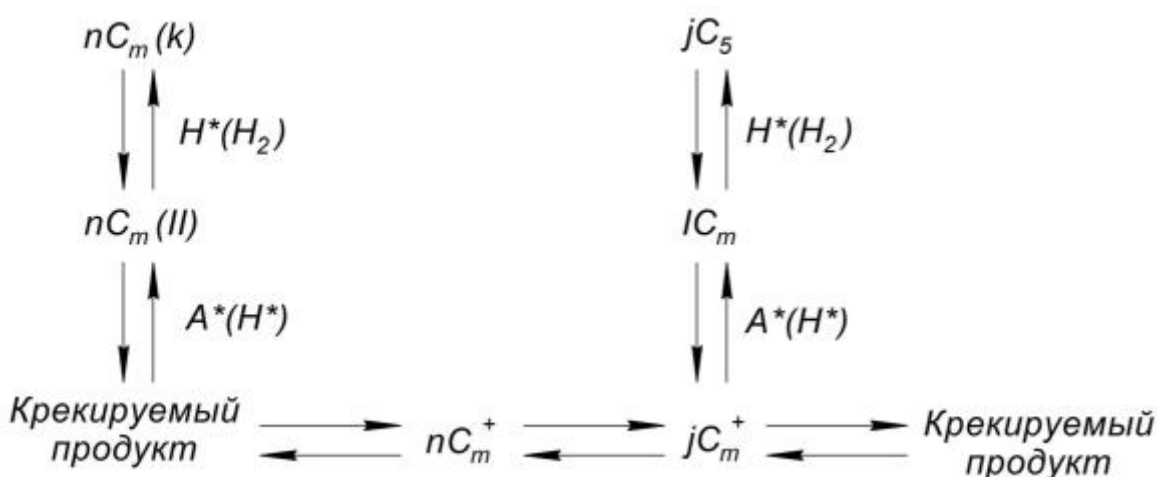


Рисунок 1.2 – Механизм процесса гидрокрекинга

$nC_m(I)$ – парафин; $nC_m(II)$ – олефин; nC_m^+ – карбоний-ион;
 H^* – гидрирующие, дегидрирующие центры; A^* – кислотные центры;
 iC_5 – изопентан

Продуктами процесса гидрокрекинга являются дизельная, керосиновая и бензиновая фракции, а также углеводородный газ. Выход и качество получаемой продукции напрямую зависят от сырья, условий проведения процесса и выбор того или иного типа катализатора [13]. Как было сказано выше, в качестве катализаторов для процесса гидрокрекинга выбирают бифункциональные катализаторы, в которых гидрирующую функцию выполняют сульфиды никеля и молибдена, а крекирующую – цеолиты или аморфные алюмосиликаты.

Механизм действия бифункциональных катализаторов заключается в следующем: после физической адсорбции парафинов, они дегидрируются на гидрирующих-дегидрирующих центрах катализатора. Далее образующиеся олефины выполняют роль интермедиатов, которые в дальнейшем протонируются на брэнстедовских кислотных центрах в алкилкарбокатионы, которые после β -распада превращаются в олефины и алкилкарбокатионы с меньшей длиной цепи. Затем алкилкарбокатионы подвергаются депротонированию в олефины. В результате чего полученные олефины, имеющие меньшую длину цепи, гидрируются в парафины на гидрирующих-дегидрирующих центрах катализатора [13].

Гидрирующие центры катализатора сохраняют активность кислотных центров за счет гидрирования предшественников кокса [13]. В новом катализаторе абсолютно все кислотные центры свободны для крекинга, но в результате старения катализатора активные центры дезактивируются из-за отложений кокса. Следовательно, бензольные кольца не могут крекироваться, и необходимо подвергнуть их предварительному гидрированию.

Снижение скорости реакций процесса гидрокрекинга происходит из-за адсорбции азотсодержащих соединений на кислотных центрах. Именно поэтому сульфиды NiMo и NiW за счет удаления соединений, содержащий азот,

вливают на активность катализатора. Роль крекирующей функции отводится кислотным центрам носителя [13].

Сульфиды никеля, молибдена и вольфрама играют важную функцию, так как они:

1) на стадиях дегидрирования нафтенов и гидрирования циклоолефинов непосредственно участвуют в бифункциональном механизме процесса;

2) гидрируют предшественников кокса и ароматические соединения, что приводит к получению дизельной фракции, обладающей высоким цетановым числом;

3) позволяют удалять азотсодержащие соединения, отравляющие активные центры катализатора;

4) скорее всего способны крекировать молекулы сырья на своих кислотных центрах;

5) позволяют удалять серосодержащие соединения, что способствует получению керосиновой и дизельной фракций, с максимально низким содержанием серы.

Ниже на рисунке 1.3 представлена схема превращений углеводородов в процессе гидрокрекинга [14].

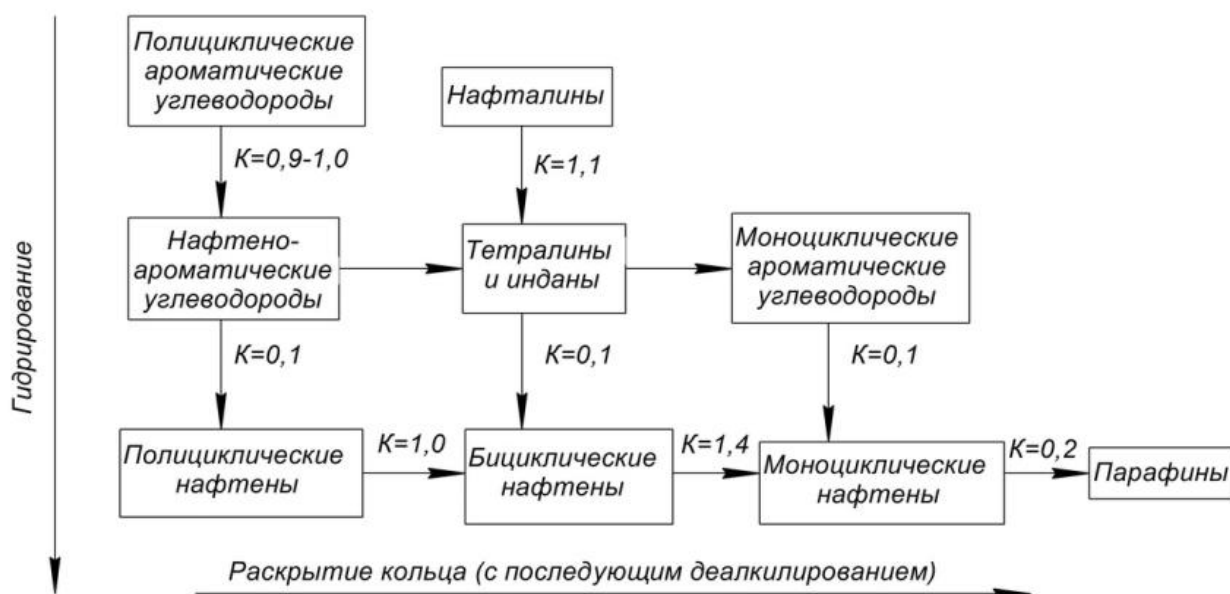


Рисунок 1.3 – Схема превращения углеводородов в процессе гидрокрекинга

Как видно из рисунка 1.3, процесс гидрокрекинга – это сложный процесс, включающий в себя целую совокупность параллельных и последовательных реакций. Почти все первичные реакции протекают до конца, в то время как вторичные – подавляются или прекращаются в присутствии водорода. В результате существенно снижается выход олефинов, а парафины, имеющие разветвленную структуру, подвергаются деметанизации.

Намного легче отделяются метильные группы, которые присоединены к вторичным атомам углерода, чем те, которые присоединены к третичным [14]. При взаимодействии водорода с нафтенами происходит разрыв колец. Разрыв колец происходит в наиболее предпочтительных позициях.

Ароматические углеводороды в мягких условиях проведения процесса наиболее стойки к гидрированию, а в более жестких происходит превращение ароматических колец в нафтеновые и отрыв боковых алкильных цепей. Также нафтены могут превращаться в парафиновые углеводороды [14].

Моноциклические ароматические углеводороды разрушаются сложнее, чем полициклические. Данная реакция протекает в несколько этапов – на первом этапе насыщается, а затем разрывается одно кольцо [14].

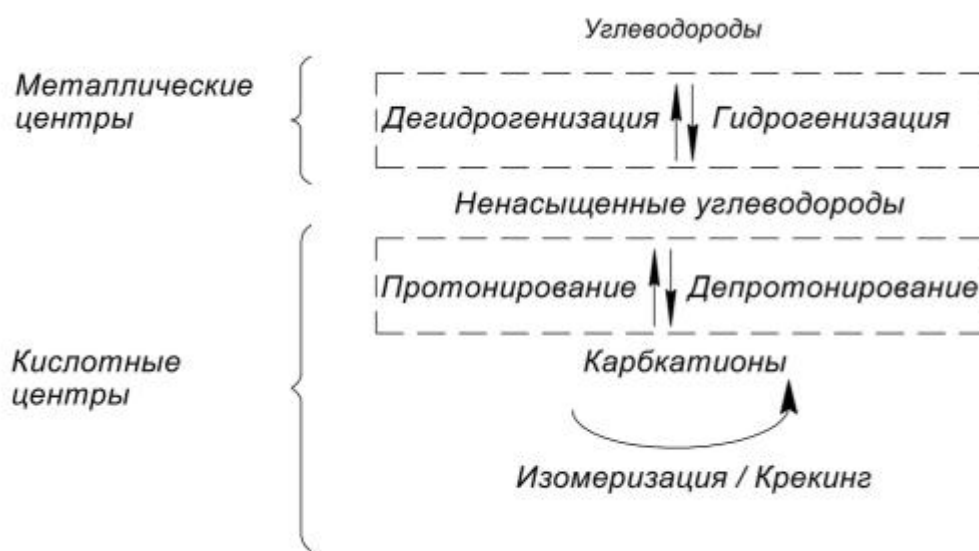


Рисунок 1.4 – Схематичное изображение реакций гидрокрекинга

Гидрокрекинг – это процесс каталитического крекинга, который проводится при высоких температурах (до 450 °С) и при повышенном давлении водорода (200 бар) на бифункциональном катализаторе [15,18].

Элементарные реакции, протекающие на металлических и кислотных центрах катализатора, показаны на рисунке 1.4. Дегидрирование насыщенных углеводородов с образованием ненасыщенных углеводородов происходит на металлическом центре [15,18]. Образовавшиеся таким образом ненасыщенные частицы подвергаются протонированию до карбокатиона на кислотных центрах. Данные карбокатионы могут затем подвергаться реакции разветвления, метильного сдвига или β -распада. Гидрирование ненасыщенных углеводородов, присутствующих в сырье (ароматических колец), происходит на металлических центрах бифункционального катализатора [15,18].

Тяжелая нефть представляет собой сложную смесь, состоящую из большого числа компонентов, поэтому изучение всех реакций, связанных с гидрокрекингом и гидроочисткой довольно сложная задача [16]. Для частного случая гидрокрекинга существуют различные типы кинетических моделей, которые аппроксимируют все реакции. Несмотря на зависимость кинетических параметров от свойств сырья и использование инвариантного диапазона перегонки продуктов, для представления кинетики гидрокрекинга будет использоваться модель на основе псевдокомпонентов благодаря ее простоте и полезности в приложениях моделирования и управления.



Рисунок 1.5 – Схема превращений в процессе гидрокрекинга, предложенная Санчесом

Схема превращений, представленная на рисунке 1.5, была предложена Санчесом [16]. Она состоит из пяти псевдокомпонентов: остаток ($538^{\circ}\text{C} +$), вакуумный газойль ($343\text{--}538^{\circ}\text{C}$), средние дистилляты ($204\text{--}343^{\circ}\text{C}$), нафта ($1\text{ВР-}204^{\circ}\text{C}$) и газы и имеет десять путей реакции для гидрокрекинга, а также десять констант скоростей реакций, которые необходимо рассчитать.

Из-за сложности исходных материалов исходные данные и продукты были описаны с использованием 40 молекул для представления исходных материалов и 113 дополнительных молекул для представления продуктов, структур, полученных путем молекулярной реконструкции.

Авторами [17] предложена схема реакций (рисунок 1.6) получения молекул продукта путем таких процессов как обессеривание, гидродеароматизация, гидроциклизация и гидрокрекинг парафинов. Было получено 40 молекул, представляющих собой три потока вакуумного газойля и 113 молекул для продуктов [17].



Рисунок 1.6 – Группы и количество молекул, присутствующих в системе

На рисунке 1.7 показана схема превращений, предложенная [18]. Данная схема включает три группы углеводородов: парафины, нафтены, ароматические соединения.

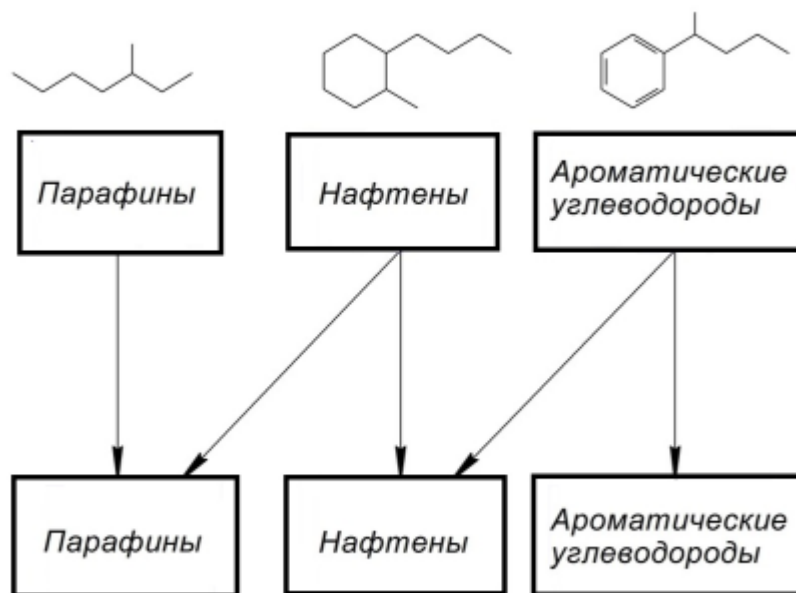


Рисунок 1.7 – Схема превращений в процессе гидрокрекинга, используемая в групповой модели

Углеводородная смесь рассматривается как непрерывное распределение истинной температуры кипения. Данный подход к группировке реагирующих веществ позволяет разработать более простую схему превращений и модель, чем использование метода единичного события, который предполагает

разработку более детальной схемы превращений и модели с количеством реакций больше 100.

Таким образом, к настоящему моменту разработаны схемы превращений в процессе гидрокрекинга, основанные на группировке реагирующих веществ по фракциям, а также более подробные схемы, которые основываются на объединении реагирующих веществ по группам: парафины, нафтены, ароматические углеводороды. Такие упрощения химизма процесса гидрокрекинга обусловлены высокой стоимостью, а в некоторых случаях и невозможностью определения содержания индивидуальных углеводородов в тяжелом сырье и продуктах процесса гидрокрекинга.

1.3 Математические модели, разработанные на современном этапе развития процесса гидрокрекинга нефтяного сырья

В последние десятилетия актуальным направлением развития процесса гидрокрекинга является математическое моделирование данного процесса [15, 18]. Наиболее полный обзор существующих моделей был сделан Дж. Анчитой и др. [19]. Выделено 4 класса моделей в зависимости от их сложности:

- 1) модели на основе группировки сырья и продуктов по фракциям;
- 2) модели на основе группировки исходных веществ и продуктов в псевдокомпоненты;
- 3) модели на основе непрерывных смесей;
- 4) микрокинетические модели.

Конверсия углеводородов, выход, фракционный состав могут быть достаточно точно спрогнозированы с использованием относительно простых подходов к моделированию, таких как дискретный подход [20, 21, 22] или групповой подход [19, 23, 24, 25, 26, 27]. Такие модели необходимы для оптимизации выхода и качества продукции, получаемой на промышленных установках гидрокрекинга. Однако данные традиционные подходы позволяют получить лишь ограниченную информацию относительно химического состава продуктов или кинетики превращений отдельных углеводородов. С другой

стороны, подробная микрокинетическая модель позволяет обеспечить всестороннее понимание механизмов основных химических превращений, что является необходимым для разработки новых катализаторов, а также совершенствования свойств существующих.

В отличие от микрокинетических моделей, разработанных для химических систем с ограниченным количеством индивидуальных компонентов, не представляется возможным разработать достаточно подробную схему превращений сложных углеводородных смесей. Были созданы вычислительные алгоритмы для разработки подробных схем превращений, которые могут содержать порядка от 10^5 до 10^6 отдельных реакций.

Метод микрокинетического моделирования единичного события был впервые предложен Фроментом и другими [28, 29, 30, 31, 32, 33]. Коэффициенты единичных событий [34, 35] рассчитываются для каждой индивидуальной реакции прежде чем объединить их в группы для сокращения размерности схемы превращений без потери наиболее важной информации. Для процесса гидрокрекинга такие алгоритмы были предложены в работе [29].

Альтернативный метод, основанный на разложении боковой цепи, был разработан Валери [34, 38, 39, 40]. Этот метод классифицирует молекулы по а) классам химических веществ; б) числу атомов углерода и в) степени разветвленности молекулы.

Ввиду своей сложности, модели, разработанные согласно методике единичных событий, традиционно применяются только к молекулам легких фракций [41, 42]. Такие модели были разработаны для процессов гидрокрекинга и гидроизомеризации длинноцепочечных парафинов [34, 38]. Работа [15] направлена на развитие данной методологии путем учета насыщенных и ненасыщенных циклических компонентов, содержащих до 55 атомов углерода, с целью моделирования гидрокрекинга реального сырья (вакуумного газойля), что имеет решающее значение, т.к. вакуумный газойль

содержит 20–30 % мас. парафинов, 50-80 % мас. нафтенов и 10-20 % мас. ароматических соединений.

На основе схемы превращений, представленной на рисунке 1.5, разработана пятикомпонентная кинетическая модель процесса гидрокрекинга [16]. Константы скоростей десяти реакций, входящих в кинетическую модель, определены на основе экспериментальных данных, полученных с использованием реактора непрерывного смешения. Несмотря на то, что большинство литературных источников свидетельствуют о том, что реакции гидрокрекинга тяжелого сырья относятся к реакциям первого порядка, в данной работе принят второй порядок реакции гидрокрекинга вакуумного остатка, в то время как остальные реакции гидрокрекинга учитывались как реакции первого порядка. Установление второго порядка реакций объясняется широким диапазоном распределения значений скоростей реакций с участием соединений, присутствующих в остатке, что приводит к тому, что скорость такой реакции снижается быстрее, чем скорость простой реакции первого порядка, поскольку наиболее реакционноспособные соединения превращаются первыми, при этом наименее реакционноспособные соединения остаются непрореагировавшими. Каждое выражение скорости реакции в модели включает расчет фактора эффективности и функцию дезактивации катализатора, которая происходит вследствие отложения кокса на поверхности катализатора.

В работе [17] авторами разработана модель процесса гидрокрекинга с использованием программного продукта Pro-II. Модель основана на трех различных составах вакуумного газойля (с температурами кипения 370-510 °С) и соответствующих им продуктах гидрокрекинга (сжиженный нефтяной газ, нефтя, керосин, дизельное топливо и непревращенный остаток) [17]. Разработанная модель учитывает две стадии процесса: реакционную стадию и фракционирование. На первой стадии реакции протекают в два этапа. Продукты из первого реактора направляются в секцию фракционирования. Кубовые остатки фракционирующей колонны направляются на вторую

реакционную стадию для более глубокой конверсии сырья. На второй стадии общий поток после первой стадии разделяется на конечные продукты. Разработанная модель гидрокрекинга вакуумного газойля позволяет предсказывать выход и свойства получаемых дистиллятов с высокой точностью.

В работе [18] рассматривалось два подхода к моделированию процесса гидрокрекинга: метод группировки и метод единичного события. Для модели, разработанной по методу группировки, в общей сложности необходимо определить 28 эмпирических параметров. В качестве исходных данных для модели необходимо определить распределение содержания парафинов, нафтенов и ароматических соединений во фракциях с различными диапазонами температур кипения. Для этой цели применялся метод имитированной дистилляции. Содержание парафинов, нафтенов и ароматических соединений в стандартных фракциях ($<150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $150 - 250\text{ }^{\circ}\text{C}$, $250 - 370\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $>370\text{ }^{\circ}\text{C}$) был определен методом масс-спектрометрии. Данная модель отличается от разработанных ранее моделей тем, что в ней учитываются несколько классов углеводородов: парафины, нафтены, ароматические соединения, а также влияние ингибиторов, таких как азот и аммиак.

Микрокинетическая модель, разработанная по методике единичного события, основана на разработанной ранее модели, в которой используется детализация по числу атомов углерода и степени разветвления, с целью сокращения размерности математического описания химических превращений без потери наиболее важной информации. Основное допущение состоит в том, что углеводороды с одинаковым числом атомов углерода и степенью разветвленности находятся в равновесии друг с другом. Группировка выполняется по методу боковых цепей. Этот метод определяет структуру углеводорода, как соединения, состоящего из циклического «основания», присоединенного к прямой цепи (включая ответвления метильного типа). Модель была расширена путем включения циклических углеводородов. Учтены

молекулы с количеством атомов углерода до 55 и до 3-х метильных ответвлений.

Разработка модели выполнена в три последовательных этапа:

1. Выделение реагирующих компонентов в сырье.
2. Разработка схемы превращений.
3. Решение результирующей системы дифференциальных уравнений.

Авторами [43] была разработана математическая модель гидрокрекинга нормальных парафинов, полученных методом Фишера-Тропша. Данная модель дает возможность учитывать следующие характеристики катализаторов: кислотность, число металлических центров, число центров адсорбции. Математическая модель может быть использована для выявления путей совершенствования катализаторов процесса гидрокрекинга. Описанная в данной статье модель базируется на групповых объединениях, теории активированного комплекса и принципе единичного события. Данные принципы и методы были описаны выше.

Таким образом, в настоящее время разработан ряд математических моделей процесса гидрокрекинга вакуумного газойля, основанных на двух подходах: метод группировки исходных веществ и продуктов процесса и метод единичного события. Оба типа моделей позволяют моделировать экспериментальные данные с пилотных установок гидрокрекинга вакуумного газойля при промышленных технологических параметрах. Модели, основанные на группировке, обеспечивают лучший результат определения макроскопических характеристик продуктов, таких как соотношение выходов и распределение содержания парафинов, нафтенов, ароматических углеводородов в среднестиллятных продуктах. Такие модели требуют в качестве исходных данных только фракционный состав и распределения содержания парафинов, нафтенов, ароматических углеводородов. Модели, разработанные на основе метода единичного события, являются более точными, позволяют получить более полную информацию, но являются более сложными и вычислительно-трудоемкими. Исследования с применением

моделей, разработанных по методу единичного события, могут быть использованы для анализа составов с точки зрения индивидуальных молекул, а также позволяют детально проанализировать кинетику реакций индивидуальных молекул по длине реактора. Такие модели могут стать важным инструментом для исследования физико-химических процессов, влияющих на активность и селективность катализатора.

С точки зрения применимости моделей, возможно предложить некоторые рекомендации. Модели, основанные на группировке, могут применяться на практике для целей проектирования и эксплуатации промышленных установок гидрокрекинга. Их относительно простая структура и низкие затраты на расчеты позволяют внедрять такой тип моделей в существующие системы. Необходимые исходные данные (фракционный состав и распределение содержания парафинов, нафтенов и ароматических углеводородов) являются доступными. Модели, основанные на методе единичного события, могут применяться в качестве инструмента для исследования и развития представлений о процессе. Их сложная структура, высокая трудоемкость вычислений, а также необходимость использования сложных аналитических методов препятствуют использованию таких моделей в промышленности. Тем не менее, получение расширенной информации и описание физико-химической природы процесса является важным и перспективным для поиска способов повышения его эффективности.

1.4 Технологии процесса гидрокрекинга нефтяного сырья, применяющиеся на современном этапе развития процесса

В течение последних трех десятилетий гидрокрекинг был востребован как процесс переработки легкой нефти. Однако вследствие истощения запасов легкой нефти, процесс гидрокрекинга нашел все большее применение для переработки тяжелой нефти и вакуумных остатков. В настоящее время для переработки тяжелых остатков применяется ряд технологий гидрокрекинга, использующих различные типы реакторов, таких как реакторы с неподвижным слоем катализатора, реакторы с кипящим (псевдооживленным) слоем

катализатора, реакторы с движущимся слоем катализатора, суспензионный реактор [44]. Принципы работы указанных реакторов достаточно похожи, однако они отличаются технологией процесса, а также характеризуются устойчивостью к примесям.

В таблице 1.3 показаны различные типы реакторов, используемые для процесса гидрокрекинга вакуумных остатков, а также критерии их применимости.

Таблица 1.3 – Сравнение различных реакторов гидропереработки

	Реактор с неподвижным слоем катализатора	Реактор с движущимся слоем катализатора	Реактор с кипящим слоем катализатора	Суспензионный реактор
Максимальное содержание металлов (Ni + V) в сырье, ppm	50-250	50-400	100-600	>300
Устойчивость к примесям	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая
Максимальная конверсия до 550 °С, % мас.	50	50	80	95
Пригодность установок к эксплуатации	Хорошая	Затруднительная	Затруднительная	Затруднительная

В таблице 1.4 представлены существующие процессы гидропереработки и их лицензиары.

Таблица 1.4 – Процессы гидропереработки нефтяных остатков

Тип реактора	Процесс	Лицензиары
Реактор с неподвижным слоем катализатора	<ul style="list-style-type: none"> • «OCR» – процесс с непрерывной заменой катализатора • «UFR» – процесс, использующий 	<ul style="list-style-type: none"> • Chevron Lumus Global (CLG) • Shell

	<p>реактор с восходящим потоком</p> <ul style="list-style-type: none"> • «Нусон» – процесс, использующий бункерный реактор • «Нувahl» – процесс, использующий дополнительный реактор для регенерации катализатора 	<ul style="list-style-type: none"> • IFP (Axen) • Shell (бункерный реактор) • Axen (дополнительный реактор)
Реактор с кипящим слоем катализатора	<ul style="list-style-type: none"> • «H-Oil» • «T-Star» • «LC-Fining» 	<ul style="list-style-type: none"> • Axen (HRI/IFP) • Chevron • ABB Lummus
Суспензионный реактор	<ul style="list-style-type: none"> • MICROCAT-RC • «Veba» – процесс комбинированного крекинга • «HDH» – процесс гидрокрекинг – фракционирование – гидроочистка • «Cash, Chevron» – процесс гидропереработки в суспензионной фазе • «EST, Eni» – процесс в суспензионной фазе • CanMet 	<ul style="list-style-type: none"> • Exxon Mobil • Veba Oel • Inteverp • Chevron • Eni Technologies Snamprogetti • Energy Research Laboratories, Canada

Селективность процесса зависит от свойств катализатора (форма, размер, активные центры, химический состав и т.д.), а также условий эксперимента. Условия протекания реакций для каждой технологии совершенно разные. Следовательно, природа сырья, использование подходящей реакторной системы и катализаторов являются важнейшими факторами, влияющими на процесс гидрокрекинга вакуумного остатка. Как правило, гидроочистка средних дистиллятов или сырья с высокой плотностью проводится в реакторах с неподвижным слоем, в то время как переработка более тяжелых видов сырья осуществляется в реакторах с или с кипящим слоем катализатора. Реактор с неподвижным слоем требует непрерывной выгрузки

дезактивированного катализатора с одновременным добавлением свежего. В реакторе с движущимся слоем, свежий катализатор поступает в верхнюю часть реактора, а дезактивированный катализатор выводится с низа реактора. Наиболее часто в процессе гидрокрекинга тяжелого нефтяного сырья в реакторе с неподвижным слоем катализатора используются смешанные слои катализаторов или несколько слоев катализатора. В случае переработки сырья низкого качества могут применяться последовательно соединенные реакторы с движущимся слоем катализатора или комбинации реакторов с кипящим слоем и неподвижным слоем катализатора.

В общем случае для гидрокрекинга тяжелого нефтяного сырья нанесенные металлические катализаторы являются более предпочтительными в реакторной системе с неподвижным слоем или кипящим слоем катализатора [44]. Каталитическая активность обычно зависит от типа активных металлов и носителей (кислотные или основные), таких как оксид алюминия, смешанный оксид алюминия ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ и др.), микропористые (цеолиты) и мезопористые материалы. Как правило, нанесенные катализаторы получают с помощью методов влажной пропитки или пропитки по влагоемкости активные компоненты наносятся на подложки. Пропитанные катализаторы обычно прокаливают, восстанавливают и используют для реакции гидрокрекинга. Перед осуществлением реакции проводят предварительную обработку серным агентом непосредственно в реакторе или за его пределами для перевода катализатора в сульфидную форму.

Основные проблемы, присутствующие в реакторах с неподвижным, движущимся и кипящим слоем катализатора, это – диффузия сырья, перепад давлений и массоперенос.

Такие проблемы, как неэффективный массообмен между частицами жидкой и твердой фазы, размер частиц и колебания скорости перемешивания также присутствуют в реакторах гидрокрекинга различных типов.

Исходя из обзора работы [44] процессы гидрокрекинга в рассмотренных реакторах имеют ограниченное коммерческое применение. Наиболее

перспективным вариантом реализации процесса гидрокрекинга тяжелого сырья в настоящее время является технология, предполагающая проведение процесса в суспензионной фазе.

1.5 Постановка цели и задач исследования

Литературный обзор показал, что процесс гидрокрекинга вакуумного газойля является основным гидрогенизационным процессом, позволяющим повысить глубину переработки нефти и производить компоненты светлые нефтепродуктов, соответствующие современным стандартам качества. Кроме того, осуществляется интенсивное строительство и введение в эксплуатацию установок гидрокрекинга в промышленности, что подтверждает перспективность исследования и совершенствования данного процесса.

При этом, выявлено, что исследование процесса гидрокрекинга осложнено несколькими факторами. Во-первых, сырье – тяжелые фракции – обладают аномально высокими плотностью и вязкостью, высокой температурой кипения, что осложняет определение их группового состава с применением существующих аналитических методов. Во-вторых, высокое содержание серы, азота и тяжелых металлов в сырье обуславливает высокую скорость и сложный механизм дезактивации катализатора. В-третьих, «жесткие» технологические условия процесса, высокая пожаро- и взрывоопасность производства не позволяют проводить эксперименты по влиянию технологических параметров и состава сырья на промышленной установке. В-четвертых, различные гидродинамические условия и условия тепло- и массообмена при использовании различных технологий, разработанных к настоящему времени и применяющихся на промышленных предприятиях, не позволяют разработать единую модель процесса, применимую для каждой конкретной технологии.

В ходе анализа литературных источников выявлено, что метод математического моделирования является современным, широко применяемым методом исследования процессов переработки нефти. Однако, в настоящее время разработано лишь ограниченное число математических моделей для

исследования процесса гидрокрекинга тяжелого нефтяного сырья, которые обладают рядом недостатков в силу указанных выше сложностей.

Целью работы является математическое моделирование процесса гидрокрекинга вакуумного газойля с учетом реакционной способности реагирующих веществ.

Для достижения поставленной цели в работе были поставлены следующие задачи:

1. Сбор и обработка априорной информации об объекте исследования – процессе гидрокрекинга вакуумного газойля.

2. Разработка математической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля.

3. Совершенствование математической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля путем учета реакционной способности n-парафинов в зависимости от числа атомов в молекуле и вероятности разрыва связей в различном положении в молекуле при гидрокрекинге n-парафинов.

4. Проведение прогнозных и оптимизационных расчетов с применением разработанной модели.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Предпроектный анализ

Нефтяная промышленность является важнейшей отраслью, которая формирует экономику страны. Углеводороды нефти широко используются в качестве источника химического сырья. Глубокая переработка нефти способствует получению широкого спектра нефтепродуктов, таких как бензин, дизельное и реактивное топлива, сжиженный углеводородный газ.

Целевой рынок – нефтехимические предприятия, на которых в будущем будет использоваться данная разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга) [56].

Разрабатываемый проект направлен на разработку и составление математической модели в виде программного продукта для исследования и оптимизации процесса гидрокрекинга вакуумного газойля.

В настоящее время перспективность научного исследования определяется коммерческой ценностью разработки, что является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью данного раздела в магистерской диссертации является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации. Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- планирование научно-исследовательских работ;

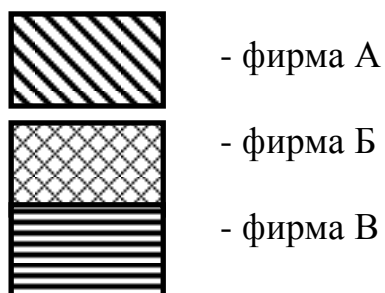
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективностей исследования [56].

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потенциальных потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. На рисунке 5.1 представлена карта сегментирования рынка по виду оказываемой услуги с применением математической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля.

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

Рисунок 5.1 – Карта сегментирования



На Рисунке 5.1 показано, какие ниши на рынке услуг по применению математической модели не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

5.1.2 Диаграммы Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- Выявление причин возникновения проблемы;
- Анализ и структурирование процессов на предприятии;
- Оценка причинно-следственных связей.

Построение диаграммы начинают с формулировки проблемной области/темы, которая является объектом анализа и наносится на центральную горизонтальную стрелку диаграммы.

Затем выявляются факторы/группы факторов, влияющие на объект анализа. Часто, для выявления таких факторов используется прием 6М:

- персонал (Manpower);
- оборудование (Machine);
- сырье, материалы, комплектующие (Material);
- технология проведения работ (Method);
- средства измерения и методы контроля (Measurement);
- производственная среда (Media).

Выявленные факторы подводят к стрелкам диаграммы первого уровня.

Данная диаграмма приведена в приложение А.

5.2.1 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен ниже в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

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

	услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот		
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	60	62

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (5.1)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. В данном случае $B_{\text{сум}}$ составляет 60 и 62, т.е. от 75 до 60 оба направления входят в данный интервал. Такая научная разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для коммерциализации. Успешное развитие моделирования процесса гидрокрекинга вакуумного газойля составит хорошую конкуренцию зарубежным разработкам. Для этого необходимо вкладывать большие ресурсы в разработку, а также необходимо финансирование от государства.

5.2.2 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект.

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок:

1. *Торговля патентными лицензиями*, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной

основе. При этом в патентном законодательстве выделяющие виды лицензий: исключительные (простые), исключительные, полные лицензии, сублицензии, опционы.

2. *Передача ноу-хау*, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

3. *Инжиниринг* как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

4. *Франчайзинг*, т.е. передача или переуступка (на коммерческих условиях) разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

5. *Организация собственного предприятия*.

6. *Передача интеллектуальной собственности* в уставной капитал предприятия.

7. *Организация совместного предприятия*, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

8. *Организация совместных предприятий*, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Проанализировав перечисленные методы коммерциализации, наиболее эффективным для данной разработки является инжиниринг.

На данной стадии уже имеется предприятие, на котором реализован процесс гидрокрекинга вакуумного газойля. Таким предприятием является один из российских НПЗ. Данное предприятие заинтересовано в разработке новых технологий, а также в усовершенствовании технологического процесса.

Проводилась работа по повышению эффективности процесса гидрокрекинга вакуумного газойля.

Такой выбор связан с тем, что исследования проводятся на основе экспериментальных данных, взятых непосредственно с цеха предприятия. Поэтому разработка является актуальной лишь для одного определенного предприятия, что связано с различными условиями проведения процесса. Владелец предприятия и работники, выполняющие исследования, заранее договариваются о предоставлении последними услуг по повышению эффективности процесса, а производитель в свою очередь предоставляет данные для НИИ. Такой метод коммерциализации является единственным подходящим в данном случае.

5.3 Инициация проекта

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [2].

5.3.1 Цели и результат проекта

Целью данного проекта является прогнозирование показателей, установление термодинамических и кинетических закономерностей процесса алкилирования бензола этиленом на цеолитных катализаторах. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИИ	Оптимизация технологического режима процесса гидрокрекинга вакуумного газойля
Национальный исследовательский Томский политехнический	Сотрудничество, развитие партнерских отношений для достижения общих экономических и стратегических целей

Таблица 5.3 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Оптимизация режима работы установки гидрокрекинга вакуумного газойля
Ожидаемые результаты проекта:	Максимальный выход продукта – дизельного топлива, сокращение побочных реакций в ходе протекания процесса
Критерии приемки результата проекта:	Адекватность полученной математической модели (минимальное расхождение между расчетными и экспериментальными значениями) должна составлять не менее 90%
Требования к результату проекта:	Возможность внедрения модели на производство в виде технологической моделирующей системы

5.3.2 Организационная структура проекта.

Необходимо определить группу данного проекта и роль каждого участника, их функции и трудозатраты.

Таблица 5.4 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Белинская Наталия Сергеевна, к.т.н., доцент	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников.	98
2	Креницына Зоя Васильевна, к.т.н., доцент	Эксперт проекта	Координирует деятельность магистранта при выполнении раздела финансовый менеджмент	2

3	Сотникова Анна Александровна, ассистент	Эксперт проекта	Координирует деятельность магистранта при выполнении раздела социальная ответственность	2
4	Макаровских Александра Викторовна, Консультант-лингвист	Эксперт проекта	Оказание методической помощи при работе над переводом одной из глав магистерской диссертации на иностранный язык	12
5	Бедарева Екатерина Константиновна, магистрант	Исполнитель проекта	Выполнение работ по проекту	1386
ИТОГО:				1500

5.3.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 5.5 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	300000 руб.
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	февраль 2018-май 2019
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	12.03.2018
3.2.2. Дата завершения проекта	Май 2019

5.4 Планирование управления научно-техническим проектом

5.4.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 2 представлена иерархическая структура по проекту.

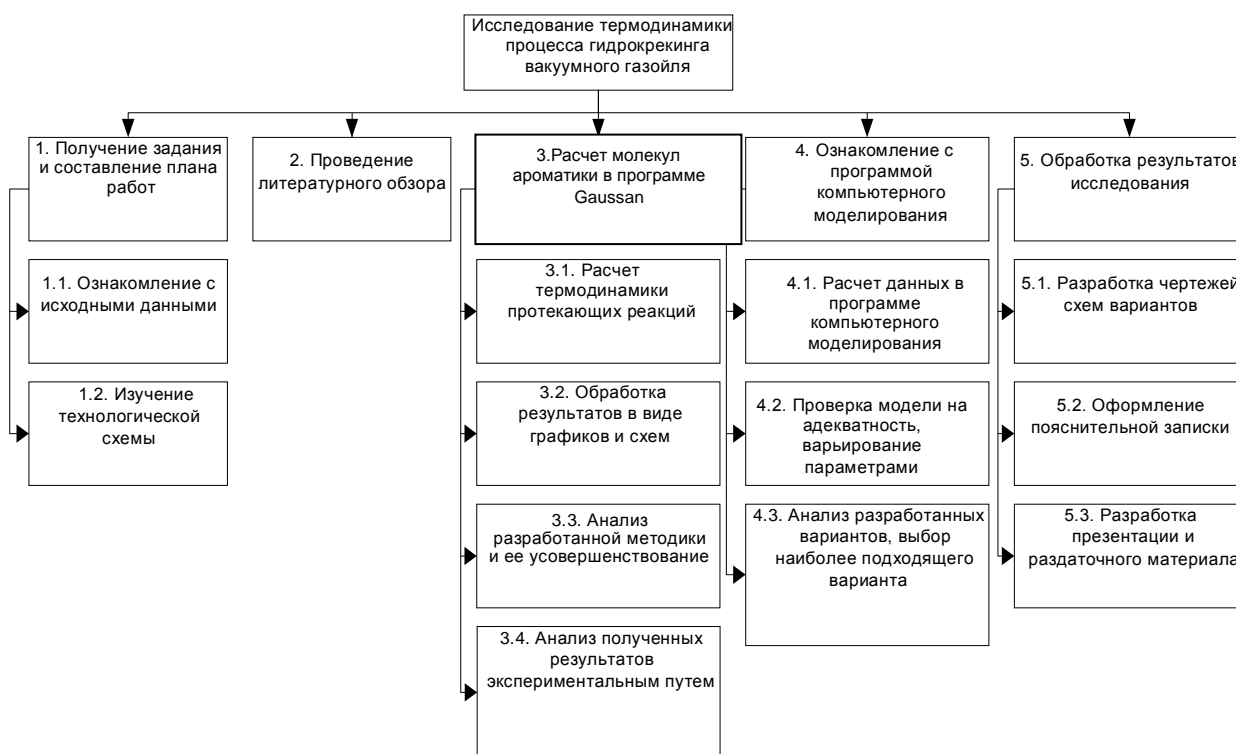


Рисунок 5.2 – Иерархическая структура работ по проекту

5.4.2 Контрольные события проекта

Список контрольных событий – это список важных моментов или событий проекта.

Таблица 5.6 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Получение задания и составление плана работ	13.02.2019 - 13.02.2019	Отчет о плане работ
2	Ознакомление с экспериментальными данными	14.02.2019 - 17.02.2019	Отчет

3	Изучение теоретических материалов	18.02.2019 - 19.02.2019	Отчет
4	Работа с литературой	20.02.2019 - 05.03.2019	Литературный обзор
5	Расчет параметров на моделирующей программе	06.03.2019 - 24.04.2019	Отчет
6	Разработка презентации и раздаточного материала	25.04.2019 - 29.04.2019	Презентация, раздаточный материал
7	Обработка результатов	30.04.2019 - 07.05.2019	Отчет
8	Оформление таблиц данных, графиков	08.05.2019 - 12.05.2019	Презентация
9	Обсуждение результатов	13.05.2019 - 16.05.2019	Отчет о результатах НТИ
10	Оформление пояснительной записки	19.05.2019 - 30.05.2019	Пояснительная записка

5.4.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Таблица 5.7 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Получение задания и составление плана работ	1	13.02.2019	13.02.2019	Белинская Н.С., Бедарева Е.К.
2	Ознакомление с экспериментальными данными	2	14.02.2019	17.02.2019	Бедарева Е.К.
3	Изучение технологии процесса	2	18.02.2019	19.02.2019	Бедарева Е.К.
4	Работа с литературой	10	20.02.2019	05.03.2019	Бедарева Е.К.
5	Расчет термодинамических параметров	36	06.03.2019	24.04.2019	Белинская Н.С., Бедарева Е.К.
6	Разработка презентации и раздаточного материала	3	25.04.2019	29.04.2019	Бедарева Е.К.
7	Обработка результатов	5	30.04.2019	07.05.2019	Бедарева Е.К.
8	Оформление таблиц данных,	2	08.05.2019	12.05.2019	Бедарева Е.К.

	графиков				
9	Обсуждение результатов	4	13.05.2019	16.05.2019	Белинская Н.С., Бедарева Е.К.
10	Оформление пояснительной записки	10	19.05.2019	30.05.2019	Бедарева Е.К.
Итого:		75			

На основе таблицы 5.7 строим календарный план-график.

Таблица 5.8 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май					
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Получение задания и составление плана работ	Руководитель Магистрант	1														
2	Ознакомление с экспериментальным и данными	Магистрант	2														
3	Изучение технологии процесса	Магистрант	2														
4	Работа с литературой	Магистрант	10														
5	Расчет термодинамических параметров	Руководитель, Магистрант	36														
6	Разработка презентации и раздаточного материала	Магистрант	3														
7	Обработка результатов	Магистрант	5														
8	Оформление таблиц данных, графиков	Магистрант	2														
9	Обсуждение результатов	Руководитель, Магистрант	4														
10	Оформление пояснительной записки	Магистрант	10														
<i>i</i>			75														

5.4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3-5 % от цены). Результаты по данной статье занесем в таблицу 9.

Таблица 5.9 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Ед. Измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага	пачка	2	250	500
Ручка	шт	3	50	150
Картридж для принтера	шт	1	590	590
Тетрадь для записей	шт	3	40	120
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				68
Итого:				1428

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

Для выполнения данного проекта необходимо приобретение персонального компьютера для двух участников проекта, ПО MicrosoftOffice 365 для создания документов, лицензионного программного обеспечения Gaussian для расчета термодинамических параметров реакций в ходе процесса гидрокрекинга вакуумного газойля, лицензионного программного пакета Delphi 7 для компьютерной реализации модели. Также необходимо иметь экспериментальные данные с завода, которые могут быть получены двумя способами: 1) запросить данные с лаборатории завода; 2) провести необходимые исследования в лаборатории кафедры.

Таблица 5.10 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Персональный компьютер	1	35	35
2	Принтер	1	3	3
3	ПО Microsoft Office 365 Small Bus Prem	2	5,750	11,5
4	Лицензия на программный пакет Gaussian	1	40	40
5	Лицензия на программный пакет Delphi 7	1	27	27
6	Лицензия на программный пакет C++	1	30	30
7	Лицензия на программный пакет Anjuta	1	25	25
8	Лицензия на программный пакет STATISTICA 10	1	20	20
Итого:				197

Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.2)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле [30]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб}, \quad (5.3)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 5.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	485	485
Количество нерабочих дней		
выходные дни:	64	64
праздничные дни:	40	40
Потери рабочего времени		
отпуск:	48	48
невыходы по болезни:	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	333	333

$$Z_{дн(рук.)} = \frac{34190 \cdot 10,4}{333} = 1068 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн(маг.)} = \frac{11976 \cdot 10,4}{333} = 374 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (5.4)$$

где Z_b – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

k_d – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное

мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда) [56];

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 5.12 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Зб, руб.	k_{np}	k_d	k_p	Зм, руб.	Здн, руб.	Тр, раб. дн.	Зосн,
Руководитель	26300	-	-	1,3	34190	1068	40	42720
Магистрант	9213	-	-	1,3	11976	374	90	33660
Итого:								76380

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 - 15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $Z_{осн}$ - основная заработная плата, руб.;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты, примем 12 %

Таблица 5.13 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	42720	33660
Дополнительная зарплата	5126	4039
Итого по статье $C_{зп}$	47846	37699

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (5.5)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [56].

Таблица 5.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата,	Дополнительная заработная плата,
-------------	----------------------------	----------------------------------

	руб.	руб.
Руководитель проекта	42720	5126
Магистрант	33660	4039
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	
Отчисления ,руб	20699	2384
Итого	62462	

Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.6)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

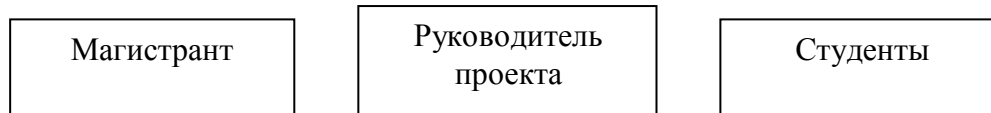
$$C_{\text{накл}} = 0,8 * 85545 = 68436 \text{ руб.}$$

Таблица 5.15 – Группировка по статьям [57]

Вид работ	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
1.	1428	197000	76380	9165	23083	68436	375492

5.4.5 Организационная структура проекта

Для проводимого исследования характерна проектная организационная структура (рисунок 5.3).



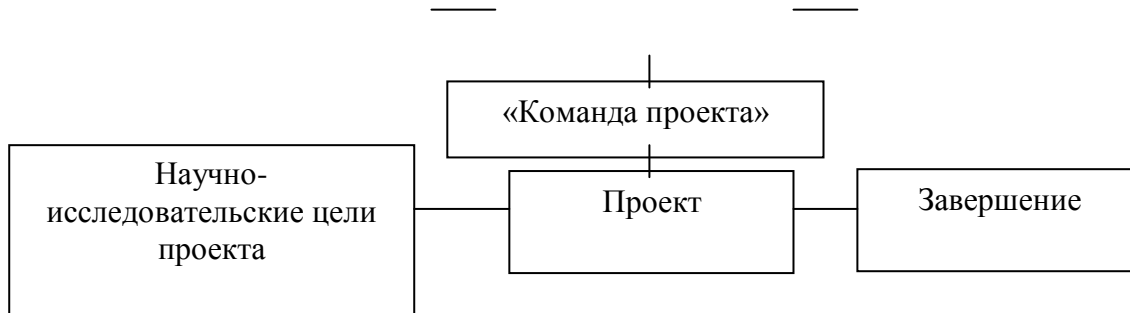


Рисунок 5.3 – Организационная структура проекта

5.4.6 Потенциальные риски

Риски с наибольшей вероятностью наступления и высокой степенью влияния будут иметь высокий уровень, риски же с наименьшей вероятностью наступления и низкой степенью влияния соответственно низкий уровень.

Возможные риски проекта приведены на рисунке 5.4.

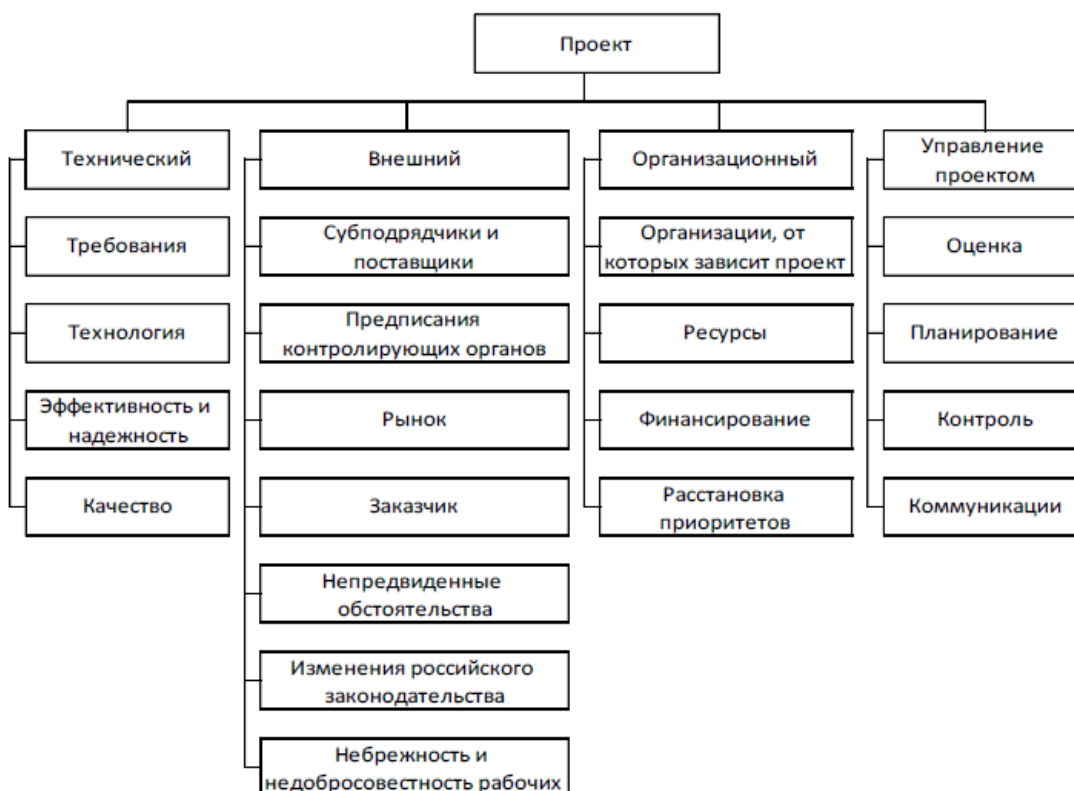


Рисунок 5.4 – Иерархическая структура рисков

Таблица 5.16 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятно-сть наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Отсутствие финансирования	3	3	Низкий	Заинтересовать инвесторов	Незаинтересованность в данной разработке
2	Ограничения внедрения на рынок	4	4	Высокий	Провести маркетинговый анализ	Нет рекламы, незаинтересованность в отечественном продукте
3	Отсутствие прототипа научной разработки	5	5	Высокий	Выявить сильные и слабые стороны конкурентов	Наличие альтернативных разработок

Из таблицы 5.16 видно, что уровень риска проекта средний. Так как исследование проводится совместно с действующим НПЗ.

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта.

5.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Таблица 5.17 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки

Вариант исполнения аналога №	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы, руб	Итого плановая себестоимость
Стоимость разработки	1140	52000	86663	10399	29118,6	77650	256970,6
Аналог 1	1300	52000	86663	10399	29118,6	77650	257130,6
Аналог 2	1500	52000	86663	10399	29118,6	77650	257150,6

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{256970,6}{257150,6} = 0,988$$

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{257130,6}{257150,6} = 0,996$$

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{257150,6}{257150,6} = 1$$

где I_{Φ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

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

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

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 5.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	I_m^p	Аналог 1	I_m^{a1}	Аналог 2	I_m^{a2}
1. Адекватность разработки	0,3	5	1,5	4	1,2	5	1,5
2. Унифицированность	0,2	4	0,8	4	0,8	4	0,8
3. Простота применения	0,24	3	0,72	5	1,3	4	1,04
4. Универсальность	0,26	5	1,3	3	0,72	3	0,72
ИТОГО	1	17	4,32	16	4,02	16	4,06

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,32}{0,988} = 4,37;$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_\phi^{a1}} = \frac{4,02}{0,996} = 4,04;$$

$$I_{финр}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_\phi^{a2}} = \frac{4,06}{1} = 4,06;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a1}} = \frac{4,37}{4,04} = 1,082;$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a2}} = \frac{4,04}{4,06} = 0,995;$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; $I_{тэ}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{тэ}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 5.20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,996	1	0,988
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,02	4,06	4,32
3	Интегральный показатель эффективности	4,04	4,06	4,37
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,081		1,076

Вывод: Сравнение значений интегральных показателей эффективности вариантов исполнения разработки показало, что более эффективным вариантом решения технической задачи, поставленной в магистерской работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности, является данная разработка.

6 Социальная ответственность

Одним из национальных приоритетов для сохранения человеческого капитала является обеспечение безопасности жизни и здоровья работников во время трудовой деятельности [60], что требует постоянного улучшения условий и охраны труда, промышленной и экологической безопасности. При этом крайне необходимо совершенствование нормативной правовой базы в целях повышения эффективности систем оценки условий труда работающих, выявления и управления профессиональными рисками.

Для обеспечения соблюдения требований охраны труда на предприятии существуют контролирующие органы власти, в качестве которых выступают Правительство РФ и уполномоченные исполнительные органы на местах, а также Федеральная служба по труду и Государственные инспекции труда.

В соответствии с [60] необходимо непрерывно совершенствовать систему страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, формированию страховых тарифов в зависимости от условий труда и уровня его охраны на рабочих местах.

Специальная оценка условий труда осуществляется согласно [68].

Объектом исследования данной работы математическая модель процесса гидрокрекинга вакуумного газойля.

Цель данной работы – расчеты и оптимизация технологических параметров процесса гидрокрекинга на данной математической модели.

Данная дипломная работа выполнялась в аудитории 135, расположенная на первом этаже 2-го учебного корпуса Томского политехнического университета. Аудитория 135 оборудована 15 ЭВМ, 1 копировальным аппаратом, 1 принтером.

Экспериментальная часть магистерской диссертации осуществлялась на персональном компьютере (далее ПК) при работе с различными программными обеспечениями в отделении химической инженерии. Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления, кондиционирования воздуха. Освещение рабочего места комбинированное – сочетание естественного света из окон и искусственного.

Рабочее место в аудитории представляет собой стол, с находящимся на нем монитором и системным блоком ЭВМ, и офисный стул. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером, соответствует требованиям.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Статья 212 ТК РФ обязывает работодателя разработать и утвердить инструкции по охране труда и обеспечить ознакомление с ними работников. Таким образом, в организации может быть утвержден специальный документ, предусматривающий правила выполнения трудовых операций с компьютерной техникой, который может называться, например, инструкцией по технике безопасности при работе за компьютером. Отдельные положения по данному вопросу могут содержаться в инструкции по охране труда для офисных работников.

С целью избежать переутомления работника СанПиН рекомендуют делать перерывы длительностью от 10 до 15 минут после 45-60 минут работы. Во время перерыва работнику следует выполнять гимнастику для глаз и физические упражнения, предусмотренные приложениями 8-10 к СанПиН.

Рациональная планировка рабочего места должна обеспечивать: наилучшее размещение орудий и предметов труда, не допускать общего дискомфорта, уменьшать утомляемость работника, повышать продуктивность труда. Площадь рабочего места должна быть такой, чтобы работник не делал лишних движений и не чувствовал неудобства во время работы. Важно иметь также возможность изменить рабочую позу, то есть положение корпуса, рук, ног. Однако целесообразно исключить или минимизировать все физиологически неестественные и неудобные положения тела.

Проведенные исследования показывают, что при рациональной организации рабочих мест производительность труда растет на 15-25%. Основные эргономические требования к проектированию рабочего места в системе "человек - техника - производственная среда" изображены на рисунке 6.1:

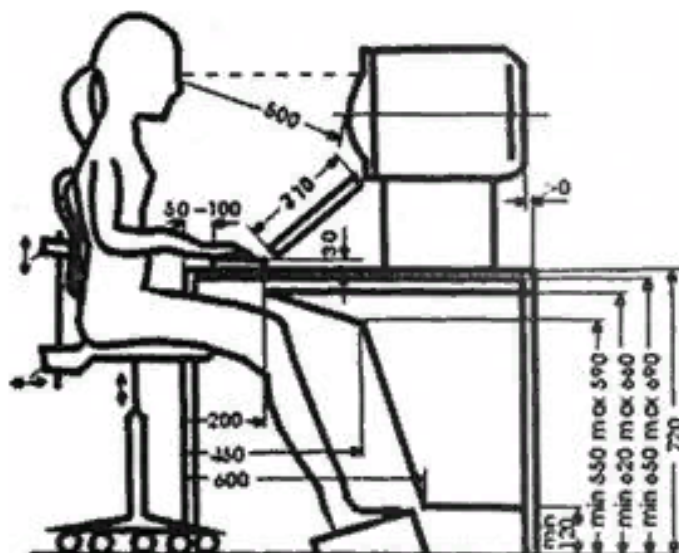


Рисунок 6.1 – Рабочий стол и размещение пользователя ПК

Гигиенические требования определяют условия жизнедеятельности и работоспособности человека в процессе взаимодействия с техникой и средой; показателями являются уровень освещения, температура, влажность, шум, вибрация, токсичность, загазованность.

Антропометрические требования определяют соответствие конструкций техники антропометрическими характеристикам человека (рост, размеры тела и отдельные двигательные звена). Показателями являются рациональная рабочая поза, оптимальные зоны достижения, рациональные трудовые движения.

Физиологические и психофизиологические требования определяют соответствие техники и среды возможностям работника. Относительно восприятия, переработки информации, принятия и реализации решений.

Организация рабочего места предусматривает:

- правильное размещение рабочего места в производственном помещении;
- выбор эргономично обоснованного рабочего положения, производственных мебели с учетом антропометрических характеристик человека;
- рациональная компоновка оборудования на рабочих местах;
- учета характера и особенностей трудовой деятельности.

Общие принципы организации рабочего места:

- на рабочем месте не должно быть ничего лишнего. Все необходимые для работы предметы должны быть рядом с работником, но не мешать ему;
- те предметы, которыми пользуются чаще, располагаются ближе, чем предметы, которыми пользуются реже;
- предметы, которые берут левой рукой, должны быть слева, а те предметы, которые берут правой рукой - справа;
- если используют обе руки, то местоположение приспособлений выбирается с учетом удобства захвата его двумя руками;
- рабочее место не должно быть загромождено;
- организация рабочего места должна обеспечивать необходимую обзорность.

Статические напряжения работника в процессе труда связаны с поддержанием в неподвижном состоянии предметов и орудий труда, а также поддержание рабочей позы.

Соблюдение правил работы за компьютером позволит снизить негативное воздействие компьютера на здоровье работника. Однако чаще всего именно работники пренебрегают данными правилами, и задача работодателя в данном случае – постоянно доводить до сведения своих сотрудников информацию о последствиях несоблюдения вышеизложенных требований и своими распоряжениями организовывать обязательные перерывы в работе.

6.2 Производственная безопасность

Потенциально опасными и вредными факторами в процессе получения данных и их обработки определяются в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015.

Факторы, которые могут воздействовать на исследователя в ходе работы, приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при исследовании математической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля

Факторы	Этапы работ	Нормативные
---------	-------------	-------------

(ГОСТ 12.0.003-2015)	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	документы
1. Микроклимат	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Электробезопасность	+	+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
3. Пожаробезопасность	+	+	+	22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности

6.2.1 Анализ вредных факторов

Проанализируем факторы рабочей зоны на предмет выявления их вредных проявлений. В данном исследовании к факторам рабочей зоны относятся метеорологические условия, электромагнитные поля и освещение на рабочем месте.

- Микроклимат на рабочих местах.

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

Метеорологические условия рабочей среды (микроклимат) оказывают влияние на процесс теплообмена и характер работы. Микроклимат характеризуется температурой воздуха, его влажностью и скоростью движения, а также интенсивностью теплового излучения. Длительное воздействие на человека неблагоприятных метеорологических условий резко ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям. Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профзаболеванию. Низкая температура воздуха может вызвать местное или

общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания либо обморожения [59].

Влажность воздуха оказывает значительное влияние на терморегуляцию организма человека. Высокая влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре она усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению организма. Низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных органов работающего.

В помещении, где находится компьютер, средняя температура воздуха 22 °С – в холодный период, относительная влажность воздуха 55%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с. В теплый период температуры воздуха составляет 24 °С, относительная влажность 50%, а скорость движения воздуха – 0,1 м/с. В соответствии с [59] на рабочих местах пользователей ПК должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в соответствии с нормативы СанПиН 2.2.4.548-96. Согласно этому документу оптимальные характеристики микроклимата представлены в таблице. Рассматриваемую работу пользователя ПК относим к категории тяжести работ 1а (работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением).

Таблица 6.2 – Оптимальные параметры микроклимата [59]

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, С°	Температура поверхностей, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
		Оптимальные величины	Оптимальные величины		
		Допустимые величины	Допустимые величины		
холодный	Ia(до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
		20-25	19-26		0,1

теплый	Ia(до 139)	23-25	22-26		0,1
		21-28	20-29		0,2

Таблица 6.3 – Показатели микроклимата в холодный и теплый периоды времени

Сезон	Температура воздуха, t, °С	Относительная влажность, %
Холодный и переходный (средне суточная температура меньше 10 °С)	22-24	60-40
Теплый (среднесуточная температура воздуха 10 °С и выше)	21-23	60-40

Параметры микроклимата в компьютерном классе, в котором выполнялось исследование, соответствуют оптимальным для холодного периода и немного завышены для теплого периода, за счет того, что в компьютерном классе установлены пластиковые окна и нет теплообмена с окружающей средой. Для того чтобы температура в компьютерном классе в теплый период соответствовало оптимальным значениям, необходимо регулярно проветривать помещение.

6.2.2 Анализ опасных факторов

6.2.2.1 Электрический ток

Электробезопасность установки обеспечивается в любых возможных нормальных и аварийных эксплуатационных ситуациях. Источниками электрической опасности являются:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- замыкания;
- статическое напряжение.

Все помещения лаборатории соответствуют требованиям электробезопасности при работе с электроустановками по ГОСТ 12.1.019-79.

Для обеспечения непрерывного отвода зарядов статического электричества с тела человека, полы в производственном помещении покрыты диэлектрическим материалом – бетоном, керамической плиткой.

Все электрооборудование с напряжением свыше 36 В, находящееся в аудитории 135, а также оборудование и механизмы, которые могут оказаться под напряжением, надежно заземлены.

При поражении электрическим током необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия электрического тока, отключив электроприбор, которого касается пострадавший. Отключение производится с помощью УЗО.

При невозможности быстрого отключения электроприбора необходимо освободить пострадавшего от токоведущих частей деревянным или другим, не проводящим ток предметом источник поражения.

Во всех случаях поражения электрическим током необходимо вызвать врача [64].

6.2.2.2 Пожаробезопасность

Все помещения в компьютерном классе соответствуют требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и имеют средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83.

Также к опасным факторам относится опасность возникновения пожара на рабочем месте.

В соответствии со ст. 26 [62] учебная аудитория, оборудованная компьютером относится к категории «В». Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях составлен «План эвакуации людей при пожаре», который регламентирует действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывает места расположения пожарной техники (рисунок 6.2).

**ПЛАН ЭВАКУАЦИИ ПРИ ПОЖАРЕ И ДРУГИХ ЧС
из помещений кафедры ХТТ учебного корпуса № 2,
пр. Ленина, 43а – 1 этаж**

Согласовано _____

Утверждаю _____



Рисунок 6.2 – План эвакуации производственного помещения с указанием средств противопожарной защиты

На рисунке 6.2 показан план эвакуации при пожаре и других чрезвычайных ситуациях из помещений, в которых осуществляется НИР. В данном случае, это план эвакуации из 135 аудитории, которая расположена в здании учебного корпуса № 2 НИ ТПУ, по адресу пр. Ленина 43а – 1 этаж.

Горючими компонентами в помещении являются: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, изоляция кабелей и др.

Источниками возгорания могут служить электрические схемы от ЭВМ, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате различных нарушений в работе элементы перегреваются, могут возникнуть электрические искры, способные вызвать загорания горючих материалов. Для тушения возгорания в помещении предусмотрен углекислотный огнетушитель.

Профилактические меры включают: периодические проверки состояния пожарной безопасности, обеспечение контроля за своевременным выполнением предложенных мероприятий; проведение пожарно-технических обследований объекта представителями Государственного пожарного надзора, установление

действенного контроля за выполнением предписаний и приказов, проведение бесед-инструктажей и специальных занятий, проверку исправности и правильного содержания стационарных автоматических и первичных средств пожаротушения, противопожарного водоснабжения и систем извещения о пожарах.

Основной метод профилактической работы – устранение выявленных входе проверки недочетов на месте, а при отсутствии такой возможности - в кратчайший срок.

6.2.3 Мероприятия по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя, необходимые лаборатории

6.2.3.1 Электробезопасность

Электробезопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц обеспечивается выполнением следующих мероприятий:

- 1) соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия;
- 2) ограждение токоведущих частей;
- 3) применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- 4) применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- 5) применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
- б) использование средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы.

Для контроля предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов измерять напряжения и токи в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. Класс точности измерительных приборов должен составлять не ниже 2,5.

6.2.3.2 Пожаробезопасность

Профилактические меры включают: периодические проверки состояния пожарной безопасности, обеспечение контроля за своевременным выполнением предложенных мероприятий; проведение пожарно-технических обследований объекта представителями Государственного пожарного надзора, установление действенного контроля за выполнением предписаний и приказов, проведение бесед-инструктажей и специальных занятий, проверку исправности и правильного содержания стационарных автоматических и первичных средств пожаротушения, противопожарного водоснабжения и систем извещения о пожарах.

Основной метод профилактической работы – устранение выявленных входе проверки недочетов на месте, а при отсутствии такой возможности - в кратчайший срок.

6.2.3.3 Микроклимат

Параметры микроклимата в компьютерном классе, в котором выполнялось исследование, соответствуют оптимальным для холодного периода и немного завышены для теплого периода, за счет того, что в компьютерном классе установлены пластиковые окна и нет теплообмена с окружающей средой. Для того чтобы температура в компьютерном классе в теплый период соответствовало оптимальным значениям, необходимо регулярно проветривать помещение.

6.3 Экологическая безопасность

Непосредственно математическая модель, реализованная в виде компьютерной программы, не оказывает влияния на окружающую среду. Но существует такая проблема, как утилизация компьютеров и другой оргтехники, ведь детали, из которых они выполнены, не являются такими безвредными для окружающей среды, как это может показаться на первый взгляд.

Каждый персональный компьютер содержит не только ценные цветные металлы, но и целый набор опасных для окружающей среды веществ. Это производные газов, тяжелые металлы, среди которых кадмий, ртуть и свинец.

Попадая на свалку, все эти вещества под воздействием внешней среды постепенно проникают в почву, отравляют воздух и воду.

Также в процессе утилизации из техники извлекаются и материалы, которые могут быть использованы для вторичной переработки. «Начинка» каждого персонального компьютера содержит:

- ценные металлы – золото и серебро;
- черные и цветные металлы – алюминий, медь, железо;
- стекло и полимерные материалы.

Самый распространенный метод заключается в переработке оргтехники с последующим ее использованием для производства новых изделий. Данную задачу обычно поручают дочерним организациям, где производится чистка, ремонт, а также замена всех изношенных частей принтеров, МФУ и прочего оборудования.

Другое метод подразумевает разложение списанной оргтехники. Он состоит из двух составляющих: механической и термической. Для начала все отработанные устройства разбираются на комплектующие, которые подвергаются дальнейшей сортировке и утилизации частями. Современные технологии позволяют решить эту задачу с минимальным уроном для окружающей среды и с высокой эффективностью

К примеру, из некогда компьютерного хлама можно выделить аффинированные металлы. Речь идет о золоте, серебре, платине, палладии с чистотой в пределах 99,95–99,99 %. Замкнутый цикл производства состоит из следующих этапов: первичная сортировка оборудования; выделение драгоценных, черных и цветных металлов и других материалов; плавление; аффинаж и переработка металлов.

Соответственно, предприятия по переработке могут предложить такой ассортимент продукции:

- слитки и порошки из драгметаллов;
- аноды;
- проволока и припой, используемые в стоматологии;
- соли драгоценных металлов;

– ювелирные изделия.

Так что старое компьютерное «железо» может иметь новую жизнь, причем гораздо более интересную. Однако для того чтобы это стало возможным, следует найти в себе силы и желание не просто выбросить компьютер на свалку, а позаботиться о безопасной утилизации оргтехники. Это обязанность человека не только как гражданина страны, но и как составной части гражданского сознательного общества.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Для данного вида работы основная чрезвычайная ситуация – это попытка взлома системы с целью похищения важных данных именно с целью использования на действующем производственном объекте.

Похищение информации о процессе и последующее использование на производстве может привести к сбою технологического режима, а также выходу из строя установок процесса гидрокрекинга вакуумного газойля.

Данная установка для получения экологически чистого дизельного топлива является объектом техногенной опасности, т.е. объектом, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасные химические вещества, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти гибель или химическое заражение людей, растений, а также окружающей среды.

В состав предприятия входят как площадочные опасные производственные объекты (насосы, емкости, резервуары, печи, сепараторы, компрессора), так и линейные (различные линии трубопроводов). Возможны различные аварийные ситуаций: разгерметизация оборудования, трубопроводов, пожары как следствие взрывов при повышенном давлении [65].

В таблице 6.4 приведены возможные аварийные ситуации и способы устранения.

Таблица 6.4 – Возможные виды аварийного состояния производства и способы их устранения [67]

Возможные производственные аварийные ситуации	Причины возникновения производственных аварийных ситуаций	Действия персонала по предупреждению и устранению производственных аварийных ситуаций
Взрывы, пожары, разгерметизация трубопровода	Несоблюдение режима ведения процесса, разгерметизация оборудования и трубопроводов, разлив взрыво- пожароопасных веществ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимо вызвать пожарную охрану и бригаду скорой помощи 2. Включение звуковой аварийной сигнализации 3. Перекрыть подачу теплоносителей. Прекратить подачу сырья 4. Сброс давления на факел 5. Остановка остального оборудования
Сбой системы электроснабжения	Неполадки в системе электроснабжения	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сообщить начальнику цеха или мастеру установки 2. Перекрыть подачу топлива к горелкам печей 3. Подать пара на паровую завесу печей 4. Проконтролировать отключение насосного оборудования

Информационная безопасность заключается в обеспечении лицензированных программных пакетов для работы с математической моделью, а также своевременная установка антивирусной системы.

В случае попадания математической модели в «чужие» руки это грозит утере информации, сбой технологического процесса, что может привести к катастрофе техногенного характера, а также большая экономическая потеря.

Компьютеры в 135 аудитории оснащены современной версией антивирусной системы Касперского, а также на каждом компьютере установлен пароль для предотвращения утечки информации.

Заключение

Литературный обзор показал, что спрос на гидрогенизационные процессы растет с каждым днем, а именно на процесс гидрокрекинга вакуумного газойля. Это связано с большим количеством тяжелого нефтяного сырья, со сложностями при добыче легкой нефти.

В ходе научно-исследовательской работы были изучены основные варианты проведения процесса гидрокрекинга вакуумного газойля: легкий и глубокий. Также рассмотрены различные схемы превращений углеводородов в ходе процесса, представленные на современном этапе развития.

Продуктами процесса гидрокрекинга являются дизельная, керосиновая и бензиновая фракции, а также углеводородный газ. Выход и качество получаемой продукции напрямую зависят от сырья, условий проведения процесса и выбор того или иного типа катализатора.

С помощью программного пакета Gaussian были рассчитаны термодинамические параметры для молекул C_{12} - C_{40} , которые затем использовались для расчета реакционной способности углеводородов. Проводилась оценка реакционной способности углеводородов, а также оценка вероятности разрыва связи в данных молекулах. Исследование показало, что реакционная способность *n*-парафинов в реакции гидрокрекинга прямо пропорциональна числу атомов углерода в молекуле *n*-парафина.

В ходе данной работы проводилось исследование влияния технологических параметров, таких как давление и температура, на выход ароматических и предельных углеводородов. Выявлена одна и та же закономерность для двух различных составов сырья: при увеличении температуры и давления процесса выход ароматических углеводородов уменьшается, а выход предельных углеводородов увеличивается. На основании литературных источников, представленных в работе можно сделать вывод о том, что более мягкие условия проведения процесса способствуют образованию дизельной фракции и средних дистиллятов, а более жесткие условия способствуют образованию бензинов.

Список публикаций студента:

1. Бедарева Е.К. Моделирование процесса гидрокрекинга вакуумного газойля. Химия и химическая технология XXI веке: материалы XIX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых (Томск, 21–24 мая 2018 г.) / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2019. –С. 348.

2. Бедарева Е.К., Белинская Н.С. Моделирование процесса гидрокрекинга вакуумного газойля. Химия и химическая технология XXI веке: материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых (Томск, 20–23 мая 2019 г.) / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2019. –С. 343.

Список используемых источников

1. Хавкин В.А., Гуляева Л.А., Винокуров Б.В. Место гидрогенизационных процессов в модернизации нефтеперерабатывающей промышленности России // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2014. – № 7. – С. 8-11.
2. Технический регламент таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту».
3. Хавкин В.А., Гуляева Л.А., Чернышёва Е.А. Варианты процесса гидрокрекинга вакуумных дистиллятов // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2014. – № 4. – С. 8-12.
4. Хавкин В.А., Гуляева Л.А. Перспективы развития процесса гидрокрекинга на НПЗ России // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2016. – № 2. – С. 8-15.
5. Капустин В.М., Золовкин Ф.В., Соснова Н.А., Златкина Ю.Е. ОАО «ТАНЕКО». Установка гидрокрекинга // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2014. – № 1. – С. 21-24.
6. Ковтун М.Е. Модернизация Ильского НПЗ // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 8(187). – С. 6-9.
7. Капустин В.М., Яскин В.П., Семенов В.Н., Степанников С.В. ЗАО «Рязанская НПК». Строительство комплекса гидрокрекинга вакуумного газойля // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2014. – № 1. – С. 34-35.
8. Хавкин В.А., Гуляева Л.А., Чернышева Е.А., Петров С.М., Лахова А.И. Технологические схемы процесса гидрокрекинга дистиллятного сырья // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2017. – № 5. – С. 3-6.

9. Богданчик Н.Л. Комплекс гидрокрекинга. Новый этап в жизни завода // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2016. – № 3. – С. 9-17.
10. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов – Уфа: Гилем, 2013. – 868 с.
11. Богомолов А.И., Гайле А.А., Громова В.В. Химия нефти и газа: Учебное пособие для вузов – СПб: Химия, 1995. – 448 с.
12. Капустин В.М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти. Часть вторая. Деструктивные процессы: Учебники и учебные пособия для студентов вузов – Москва: Колос, 2007. – 334 с.
13. Дик П.П., Надеина К.А., Казаков М.О., Климов О.В., Герасимов Е.Ю., Просвирин И.П., Носков А.С. Гидрокрекинг вакуумного газойля на NiMo/ААС-Al₂O₃ катализаторах, приготовленных с использованием лимонной кислоты: влияние температуры термообработки катализатора // Катализ в нефтеперерабатывающей промышленности. – 2017. – № 5. – С. 359-372.
14. Хавкин В.А., Гуляева Л.А., Чернышева Е.А., Петров С.М., Лахова А.И. Превращение углеводородов в процессе гидрокрекинга // Мир нефтепродуктов. – 2017. – №4. – С. 4-8.
15. Becker P.J., Serrand N., Celse B., Guillaume D., Dulpt H. A single events microkinetic model for hydrocracking of vacuum gas oil // Computers and Chemical Engineering. – 2017. – Vol 98. – P. 70–79.
16. Cristian J., Calderón, Ancheyta J. Modeling of CSTR and SPR small-scale isothermal reactors for heavy oil hydrocracking and hydrotreating // Fuel. – 2018. – Vol 216. – P. 852-860.
17. Claudia X. Ramírez, Juan E. Torres, David de J. Pérez-Martínez, Kafarov V., Alexander Guzman A. Hydrocracking reaction model of petroleum heavy cuts using molecular reconstruction // Proceedings of the 26 th European symposium on computer aided process engineering. – Vol 26. – P. 2271-2276.
18. Becker P.J., Serrand N., Celse B., Guillaume D., Dulpt H. Comparing hydrocracking models: Continuous lumping vs. single events // Fuel. – 2016. – Vol 165. – P. 306-315.

19. Ancheyta J., Sánchez S., Rodríguez M.A. Kinetic modeling of hydrocracking of heavy oil fractions: A review // *Catalysis Today*. – 2005. – Vol. 109. – Issues 1–4. – P. 76-92.
20. Qader S.A., Hill G.R. Hydrocracking of petroleum and coal oils: A review // *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*. – 1969. – Vol. 8. – P. 462-469.
21. Sanchez S., Rodriguez M.A., Ancheyta J. Kinetic model for moderate hydrocracking of heavy oils: A review // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2005. – Vol. 44. – P. 9409-9413.
22. Lababidi H.M.S., Chedadeh D., Riazi M.R., Al-Qattan A., Al-Adwani H. Prediction of product quality for catalytic hydrocracking of vacuum gas oil: A review // *Fuel*. – 2011. – Vol. 90. – P. 719-727.
23. Laxmi Narasimhan C.S., Thybaut J.W., Marin G.B., Denayer J.F., Baron G.V., Martens, J.A. Relumped single-event microkinetic model for alkane hydrocracking on shape-selective catalysts: catalysis on ZSM-22 pore mouths, bridge acid sites and micropores: A review // *Chemical Engineering Science*. – 2004. – Vol. 59. – P. 4765-4772.
24. Becker P.J., Celse B., Guillaume D., Dulot H., Costa V. Hydrotreatment modeling for a variety of VGO feedstocks: a continuous lumping approach: A review // *Fuel*. – 2015. – Vol. 139. – P. 133-143.
25. Becker P.J., Celse B., Guillaume D., Costa V., Bertier L., Guillon E. A continuous lumping model for hydrocracking on a zeolite catalysts: model development and parameter identification: A review // *Fuel*. – 2016. – Vol. 164. – P. 73–82.
26. Lababidi H.M.S., AlHumaidan F.S. Modeling the hydrocracking kinetics of atmospheric residue in hydrotreating processes by the continuous lumping approach: A review // *Energy Fuels*. – 2011. – Vol. 25. – P. 1939–1949.
27. Stangeland B.E. Kinetic model for the prediction of hydrocracker yields: A review // *Industrial & Engineering Chemistry Process Development*. – 1974. – Vol. 13. – P. 71-76.

28. Baltanas M.A., Van Raemdonck K.K., Froment G.F., Mohedas S.R. Fundamental kinetic modeling of hydroisomerization and hydrocracking on noble metal-loaded faujasites.1. Rate parameters for hydroisomerization: A review // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 1989. – Vol. 28. – P. 899-910.
29. Baltanas M.A., Froment G.F. Computer generation of reaction networks and calculation of product distributions in the hydroisomerization and hydrocracking of paraffins on Pt-containing bifunctional catalysts: A review // *Computers and Chemical Engineering*. – 1985. – Vol 9. – P. 71–81.
30. Froment G.F. Kinetics of the hydroisomerization and hydrocracking of paraffins on a platinum containing bifunctional Y-zeolite: A review // *Catalysis Today*. – 1987. – Vol. 1. – P. 455-473.
31. Hillewaert L.P., Dierickx J.L., Froment G.F. Computer generation of reaction schemes and rate equations for thermal cracking: A review // *AIChE*. – 1988. – Vol. 34. – P. 17-24.
32. Van Raemdonck K.K., Froment G.F. Fundamental kinetic modeling of hydroisomerization and hydrocracking on noble metal-loaded zeolites. II. The elementary cracking steps: A review // *AIChE Meeting*. – 1989.
33. Vynckier E., Froment G. Modeling of the kinetics of complex processes based upon elementary steps. In: Astarita, G., Sandler, S.I. (Eds.) *Kinetics and Thermodynamics in Multicomponent Mixtures*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. – 1991.
34. Guillaume D., Valéry E., Verstraete J.J., Surla K., Galtier P., Schweich D. Single event kinetic modelling without explicit generation of large networks: application to hydrocracking of long paraffins: A review // *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles*. – 2011. – Vol. 66. – P. 399-422.
35. Froment G.F. Single event kinetic modelling of complex catalytic processes: A review // *Catalysis Reviews*. – 2005. – Vol. 47. – P. 83-124.
36. Kumar H., Froment G.F.A. Generalized mechanistic kinetic model for the hydroisomerization and hydrocracking of long-chain paraffins: A review // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2007. – Vol. 46. – P. 4075-4090.

37. Kumar H. Single Event Kinetic Modelling of the Hydrocracking of Paraffins: A review // A&M Univeristy, Texas. – 2004.
38. Mitsios M., Guillaume D., Galtier P., Schweich D. Single-event microkinetic model for long-chain paraffin hydrocracking and hydroisomerization on an amorphous Pt/SiO₂Al₂O₃ catalyst: A review // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2009. – Vol. 48. – P. 3284-3292.
39. Valery E., Guillaume D., Surla K., Galtier P., Verstraete J., Schweich D. Kinetic modeling of acid catalyzed hydrocracking of heavy molecules: application to squalane: A review // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2007. – Vol. 46. – P. 4755-4763.
40. Valery E. Application De La Theorie Des evenements Constitutifs a l'hydrocraquage Des Paraffines Lourdes: Universite Lyon 1 (IFPEN). – 2007.
41. Van de Runstraat A., van Grondelle J., van Santen R.A. Microkinetics modeling of the hydroisomerization of n-hexane: A review // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 1997. – Vol. 36. – P. 3116-3125.
42. Holló A., Hancsók J., Kalló D. Kinetics of hydroisomerization of C₅–C₇ alkanes and their mixtures over platinum containing mordenite: A review // Applied Catalysis A: General. – 2002. – Vol. 229. – P. 93-102.
43. Топильников В.И., Сосна М.Х., Лapidус А.Л. Разработка модели процесса гидрокрекинга нормальных парафинов // Химия твердого топлива. – 2012. – №2. – С. 25-32.
44. Ramakanta S., Byung J. Song, Ji S. Im, Young-Pyo J., Chul W. L. A review of recent advances in catalytic hydrocracking of heavy residues: A review // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2015. – Vol.27. – P. 12-24.
45. Мейерс Р.А. Основные процессы нефтепереработки. Справочник: пер. с англ. 3-го изд. / Под ред. Глаголевой О.Ф., Лыкова О.П. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 944 с.
46. Белинская Н.С. Совершенствование работы сопряженной системы «реактор-колонна стабилизации» процесса каталитической депарафинизации дизельных фракций нефти методом математического моделирования.

Диссертация на соискание ученой степени технических наук. – Томск: Изд. Томского политехнического университета, 2015. – 170 с.

47. Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Митянина О.Е., Кузьменко Е.А. Математическое моделирование химико-технологических процессов. Учебное пособие. – Томск: Изд. Томского политехнического университета, 2014. – 135 с.

48. Загоруйко А.Н. Основы математического моделирования каталитических реакторов. Учебное пособие. – Новосибирск: Изд. Новосибирского государственного университета, 2015. – 64 с.

49. Сталл Д., Вестрам Э., Зинке Г. Химическая термодинамика органических соединений. – М: Мир, 1971. – 806 с.

50. Татевский В.М. Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов. – М: Гостоптехиздат, 1960. – 412 с.

51. Полещук О.Х., Кижнер Д.М. Химические исследования методами расчета электронной структуры молекул. Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд. ТГПУ, 2006. – 146 с.

52. Dutriez T., Thiébaud D., Courtiade M., Dulot H., Bertoncini F., Hennion M. C. Application to SFC-GCxGC to heavy petroleum fractions analysis // Fuel. – 2013. – V. 104. – P. 583–592.

53. Belinskaya N.S., Frantsina E.V., Ivanchina E.D. Unsteady-state mathematical model of diesel fuels catalytic dewaxing process // Catalysis Today. – 2019. – Vol. 329. – P. 214-220.

54. Овчинникова А.В., Болдинов В.А., Есипко Е.А., Прозорова И.С. Влияние n-парафинов на низкотемпературные свойства летнего дизельного топлива // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – №6. – С. 28-31.

55. Flinn R. A., Larson A., Beuther H. The mechanism of catalytic hydrocracking // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 1960. – Vol. 52. – P. 745.

56. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2014. – 73 с.

57. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2014. – 73 с.

58. ГОСТ 12.1.007 – 76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

59. ГОСТ 12.1.005. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

60. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

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

62. ГОСТ 12.1.004. – 91. Пожарная безопасность. Общие требования.

63. Горячев С.А., Клубань В.С. Пожарная профилактика технологических процессов производств. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1983.

64. РД 153-34.0-03.702-99. Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве.

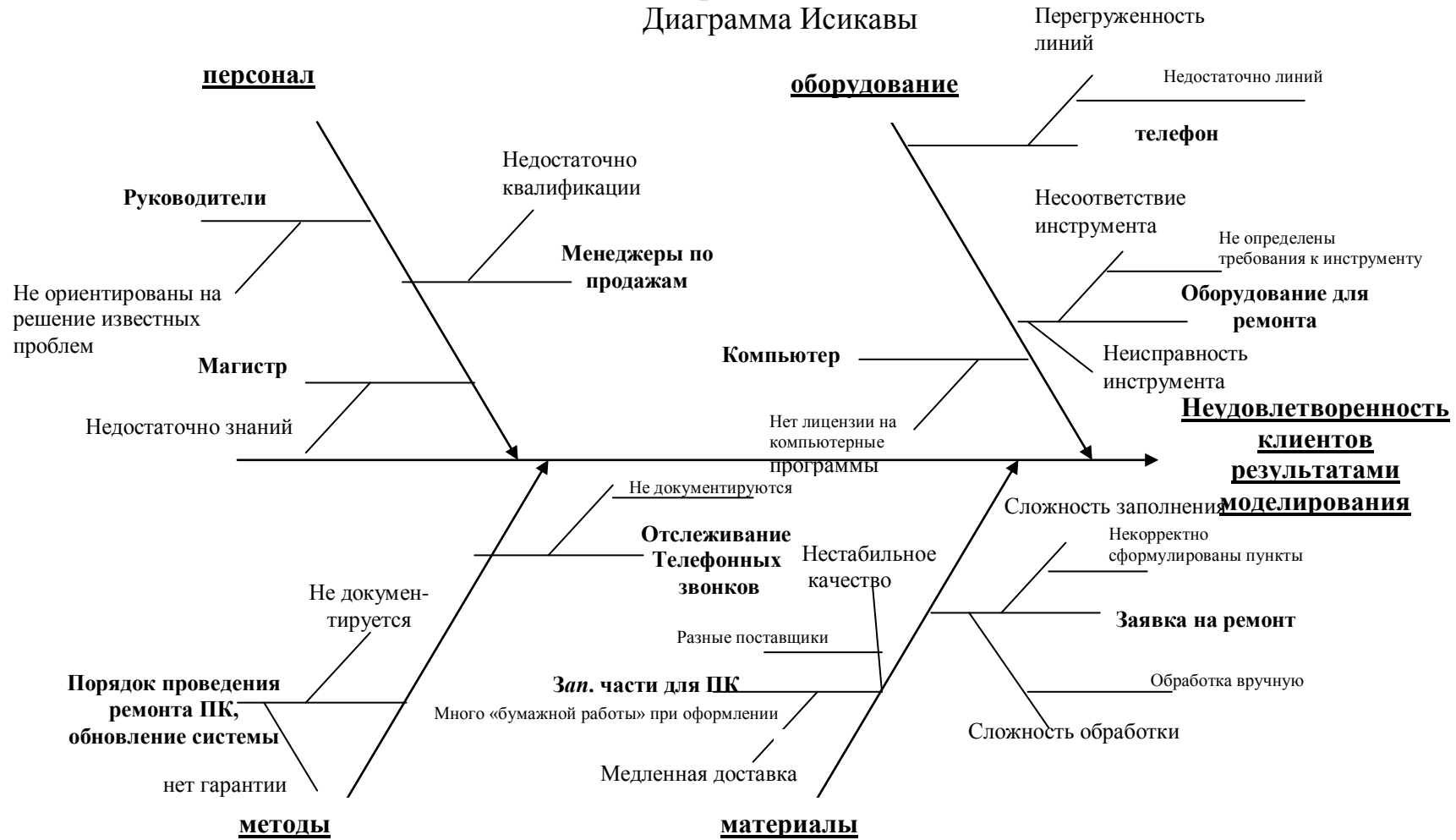
65. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

66. Абросимов А.А. Экологические аспекты производства и применения нефтепродуктов. М.: БАРС, 1999 – 732с.

67. ГОСТ Р 22.9.22. – 2014. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

68. Трудовой кодекс РФ.

Приложение А Диаграмма Исикавы



Приложение Б
(справочное)

Раздел 7
**The state and prospects of process development of crude oil hydrocracking
in Russia**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ71	Бедарева Екатерина Константиновна		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Макаровских А.В.	-		

7. The state and prospects of process development of crude oil hydrocracking in Russia

In Russia, 28 large refineries and about 300 mini-refineries have been built, the refining capacity of which is 271 million tons per year.

Currently, the Russian oil refineries have the following tasks:

- 1) Bringing petroleum products to the required quality in accordance with the Technical Regulations;
- 2) Increasing refining depth;
- 3) Modernization of existing installations of deep oil refining;
- 4) Ensuring the required environmental and industrial safety;
- 5) Decommissioning obsolete equipment.

The depth of petroleum refining at Russian refineries is only 70-71%, while in developed Western countries it is 85-95%. Currently, the demand for oils and high-quality diesel fuels is constantly growing. It is possible to increase the depth of oil refining to the level of Western countries through the introduction of hydrogenation processes. Hydrocracking of vacuum gas oil is one of such processes.

The process of crude oil hydrocracking allows processing heavy oil residues and obtain diesel fuel, aviation kerosene, high-quality straight-run gasoline. The advantage of this process over other processes of deep processing of crude oil is in the ability to obtain a wide range of petroleum products, including gasoline, jet and diesel fuel, as well as liquefied gases C3-C4. Vacuum gas oil hydrocracking is a promising and cost-effective refining process.

There are two main types of hydrocracking: “light” and “deep”. Each type of hydrocracking process is presented in more detail below.

The degree of conversion in the "light" hydrocracking is 10% up to 50%, and the process pressure is 5-10 MPa. The products of this process are summer low-sulfur diesel fuel and low-sulfur raw material of catalytic hydrocracking.

“Deep” hydrocracking proceeds under two technological modes:

- 1) with a pressure of 10-12 MPa. The main products are diesel components;

2) with a pressure of 15-20 MPa. Products are components of jet fuel and diesel fuel.

Several hydrocracking units have been implemented in Russia. These settings and process conditions are presented below:

1) In the city of Ufa, at the refinery, diesel fuel is obtained using the IFP technology at a pressure of 15 MPa; the raw material is vacuum distillate.

2) At refineries in cities such as Perm and Yaroslavl, catalytic cracking feedstock, previously hydroprocessed, and low sulfur diesel fuel are obtained as a result of hydrocracking of vacuum gas oil.

3) Hydrocracking units are launched at the Kirishi Oil Refinery and OJSC “Taneco”, the products of the process are medium distillates with low sulfur content. The pressure of the process is 15 MPa.

4) In Volgograd, an oil refining isocracking unit has been launched at an oil refinery in Chevron.

Currently, Ryazan NPK is planning to implement a hydrocracking unit whose products are middle distillates.

In Nizhnekamsk in December 2011, an oil refinery of OJSC TANECO was put into operation. The capacity of this refinery is 7 million tons per year. The hydrocracking unit, which is the main key component of the plant, makes it possible to produce high-quality fuel from any heavy oil residue. The raw material of the process is 2.9 million tons of vacuum gas oil, and products are 1.16 million tons of Euro-4,-5 diesel fuel, 380 thousand Jet jet kerosene, more than 600 thousand straight-run gasoline and hydroprocessed gas oil.

Entering the hydrocracking unit will allow increasing the depth of processing of crude oil in Russia from 73% to 97%.

This refinery assumes two stages of hydrocracking unit operation:

1) The plant operates on a mixture of oils - 75% Devonian and 25% carbonic oil; straight-run vacuum gas oil is processed;

2) The plant operates on 100% carbon oil. Direct-run vacuum gasoil and heavy coking gasoil are processed.

In order to increase the depth of crude oil refining, a project was launched in 2011 to modernize existing equipment and build new plants at the IIsk refinery, which will increase the refining depth to 95%.

In 2018, a hydrocracking unit was launched, with a capacity of 1 million tons per year. The purpose of the introduction of this installation is to obtain high-quality Euro-5 class diesel fuel and achieve the depth of processing of crude oil not lower than 98 %.

Currently, a vacuum gasoil hydrocracking complex is under construction at Ryazanskaya NPK, CJSC. The capacity of this complex is 2,200 tons per year and includes a sour water stripper and an amine regeneration unit.

At the present stage of development, several types of hydrocracking process have been implemented [10]:

- 1) hydrocracking of gasoline fractions to obtain light isoparaffin hydrocarbons, which are a valuable raw material for the production of synthetic rubber, as well as additives that increase the octane number of gasolines;

- 2) selective hydrocracking to increase the octane number, lower the freezing temperature of jet and diesel fuels;

- 3) hydrodearomatization of straight-run kerosene fractions to reduce the content of aromatic hydrocarbons;

- 4) light hydrocracking of vacuum gas oil to refine the catalytic cracking feedstock and obtain diesel fractions;

- 5) hydrocracking of vacuum distillates to produce motor fuels;

- 6) hydrocracking of oil residues to obtain boiler fuels with low sulfur content, as well as lubricating oils and motor fuels.

As can be seen from the review of modern Russian articles on the hydrocracking process, this process is promising and developing. Hydrocracking is the main hydrogenation process, which allows increasing the depth of processing of crude oil, as well as obtaining a wide range of petroleum products.