

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

Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология  
 ООП Химическая технология переработки нефти и газа  
 Отделение химической инженерии

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
<b>Моделирование процесса каталитического крекинга с учетом превращений сернистых соединений</b>

УДК 665.644

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д92	Безруких Полина Дмитриевна		

#### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Назарова Галина Юрьевна	К.Т.Н.		

#### Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
—	—	—		

#### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	К.Т.Н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

#### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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



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

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП  
«Химическая технология переработки нефти и газа»  
(направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»)**

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)–1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)–2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)–3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)–4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(–ых) языке(–ах)
УК(У)–5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально–историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)–6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)–7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)–8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)–9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно–технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)–1	Способен и готов использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)–2	Готов использовать знания о современной физической картине мира, пространственно–временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)–3	Готов использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в

	окружающем мире
ОПК(У)–4	Владеет пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознанием опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)–5	Владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)–6	Владеет основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)–1	Способен и готов осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)–2	Готов применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)–3	Готов использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)–4	Способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)–5	Способен использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)–6	Способен налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)–7	Способен проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)–8	Готов к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)–9	Способен анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования

ПК(У)–10	Способен проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)–11	Способен выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
<b>Профессиональные компетенции университета</b>	
ДПК(У)–1	Способен планировать и проводить химические эксперименты, проводить обработку результатов эксперимента, оценивать погрешности, применять методы математического моделирования и анализа при исследовании химико–технологических процессов
ДПК(У)–2	Готов изучать научно–техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ДПК(У)–3	Готов использовать знания фундаментальных физико–химических закономерностей для решения возникающих научно–исследовательских задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе, химических реакторов
ДПК(У)–4	Готов использовать информационные технологии при разработке проектов
ДПК(У)–5	Готов изучать научно–техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования на английском языке



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

Школа ИШПР

Направление подготовки (ООП/ОПОП) 18.03.01 «Химическая технология»

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП/ОПОП

\_\_\_\_\_ Мойзес О.Е.

(Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
2Д92	Безруких Полина Дмитриевна

Тема работы:

Моделирование процесса регенерации катализатора в технологии каталитического крекинга	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	30.01.2023 № 30–98/с

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>	Объектом исследования является промышленный процесс каталитического крекинга нефтяного сырья. Проектная производительность установки составляет 1868 тыс. тонн/год по сырью, режим работы непрерывный. Сырьем процесса является гидроочищенный вакуумный дистиллят.
<b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> <i>(аналитический обзор литературных источников 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>	1) Обзор технологий каталитического крекинга, современное состояние, аппаратурное оформление процесса; 2) Катализаторы крекинга: структура, классификация, основные свойства, влияние на проведение процесса каталитического крекинга; 3) Дезактивация катализатора коксообразующими структурами: закономерности, структура кокса, влияние технологических параметров на коксообразование; 4) Физико–химические основы процесса регенерации катализатора, требования, режимы; 5) Математические модели регенерации катализатора; 6) Описание объекта исследования, мониторинг промышленных данных;

	<p>7) Расчет параметров модели: материальный баланс, обоснование псевдооживления в регенераторе, гидродинамические параметры, состав кокса;</p> <p>8) Составление математической двухфазной пузырьковой модели процесса регенерации;</p> <p>9) Верификация модели.</p> <p>10) Анализ экономической привлекательности, ресурсоэффективности и ресурсосбережения работы.</p> <p>11) Анализ рисков и опасностей проведения исследования и составление перечня нормативных документов для их регулирования.</p> <p>12) Обобщение результатов и формулирование выводов по итогам проделанной работы.</p>
--	---

**Перечень графического материала**

*(с точным указанием обязательных чертежей)*

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Криницына Зоя Васильевна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

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

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Назарова Галина Юрьевна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д92	Безруких Полина Дмитриевна		

Школа ИШПР

Направление подготовки (ООП/ОПОП) 18.03.01 «Химическая технология» Химическая технология переработки нефти и газа

Уровень образования Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

Период выполнения весенний семестр 2023 учебного года

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ–ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
2Д92	Безруких Полина Дмитриевна

Тема работы:

Моделирование процесса регенерации катализатора в технологии каталитического крекинга
---

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:

--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.02.2023	Литературный обзор: технологии каталитического крекинга, катализаторы процесса, характеристика сырья и продуктов, влияние гетероатомных соединений на показатели процесса	10
21.02.2023	Описание объекта исследования, мониторинг работы промышленной установки каталитического крекинга	15
19.03.2023	Экспериментальные исследования сырья и продуктов процесса каталитического крекинга	25
05.04.2023	Разработка математической модели процесса с участием углеводородов и сернистых соединений каталитического крекинга. Верификация модели. Обсуждение результатов	30
15.04.2023	Разработка раздела «Социальная ответственность»	10
28.04.2023	Разработка раздела «Финансовый менеджмент»	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Назарова Галина Юрьевна	К.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП/ОПОП**

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

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д92	Безруких Полина Дмитриевна		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Д92	Безруких Полине Дмитриевне

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОХИ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Химическая технология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<p>Спирт этиловый, л- 350 тыс. руб.                  Селикагель,, кг - 4000 тыс. руб.                  Термометр, шт - 1500 тыс. руб.                  Пипетки, градуированны, шт - 50 тыс. руб.                  Цилиндры мерные на 100 см<sup>3</sup> шт - 250 тыс. руб.                  Пикнометр, шт - 250 тыс. руб.                  Колонка, шт - 1900 тыс. руб.                  Холодильник, шт - 1900 тыс. руб.                  Электроэнергия, кВт*ч- 4,3 тыс. руб.                  Хроматограф - 4 060 тыс. руб.                  Крион -1- 213 тыс. руб.                  Спектроскан - 53 тыс. руб.                  Рефрактометр - 118 тыс. руб.                  Термостат - 55 тыс. руб.                  Программное обеспечение (Microsoft Office 2021 Pro) - 6 тыс. руб.                  Ноутбук Honor Magic - 72 тыс. руб.                  Системный блок Dell Vostro- 30 тыс. руб.                  Монитор ASUS VZ249H- 15 тыс. руб.                  Компьютерная мышь                  Lenovo 500 Silver - 1 тыс. руб.                  Клавиатура Defender Oscar SM-660L - 2 тыс. руб.                  Доцент - 39 300 руб/мес                  Инженер - 16 100 руб/мес</p>						
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<p>Доцент – 251 день/год                  Инженер – 275 дней/год</p> <table border="1"> <tr> <td><i>Исп.1, чел.-дн.</i></td> <td><i>Исп.2, чел.-дн.</i></td> <td><i>Исп.3, чел.-дн.</i></td> </tr> <tr> <td align="center">61</td> <td align="center">63</td> <td align="center">72</td> </tr> </table>	<i>Исп.1, чел.-дн.</i>	<i>Исп.2, чел.-дн.</i>	<i>Исп.3, чел.-дн.</i>	61	63	72
<i>Исп.1, чел.-дн.</i>	<i>Исп.2, чел.-дн.</i>	<i>Исп.3, чел.-дн.</i>					
61	63	72					
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Патент						

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<p>Описание продукта                  Анализ конкурентных решений                  Потенциальные потребители                  Планирование работ по научно-техническому исследованию</p>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<p>1. Материальные затраты.                  2. Затраты на спец. оборудование                  3. Основная и дополнительная ЗП.                  4. Социальные отчисления.                  4. Прямые затраты.                  5. Накладные расходы.</p>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<p>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</p>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<p>1. Оценка конкурентоспособности технических решений                  2. Матрица SWOT                  3. Альтернативы проведения НИ</p>
--

- |  |
|--|
| 4. График проведения и бюджет НИ                                 |
| 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ |

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	17.03.2023
---	------------

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д92	Безруких Полине Дмитриевне		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
2Д92		Безруких Полина Дмитриевна	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	18.03.01 Химическая технология

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования: Моделирование процесса каталитического крекинга с учетом превращений сернистых соединений Область применения - прогнозирование содержания серы в продуктах процесса</i></p> <p><i>Рабочая зона: <u>офис</u></i></p> <p><i>Размеры помещения: площадь 20 м<sup>2</sup>, высота 2,3 м</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: компьютер – 1 шт.</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: расчеты, программирование на компьютере.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М., 1980.</li> <li>2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. М., 1979.</li> <li>3. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования. М., 1992.</li> <li>4. СНиП 2.09.02-85 Производственные здания. М., 1985.</li> <li>5. СНиП 2.4.79 Естественное и искусственное освещение. М., 1979</li> <li>6. СНиП 2-12-77 Защита от шума. М., 1977</li> <li>7. СНиП Пожарная безопасность зданий и сооружений. М. 1997.\</li> <li>8. СанПиН - 2.2.</li> </ol>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ потенциальных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Обоснование мероприятий по снижению воздействий вредных и опасных производственных факторов.</li> </ul>	<p>В помещении на программиста потенциально могут негативно действовать следующие физические факторы, согласно ГОСТ 12.0.003:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</li> <li>2. отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>3. повышенный уровень шума;</li> <li>4. длительное сосредоточенное наблюдение.</li> <li>5. производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой;</li> <li>6. производственные факторы, связанные с</li> </ol>

	<p>электромагнитными полями;</p> <p>7. повышенный уровень статического электричества;</p> <p>8. опасность поражения электрическим током.</p> <p>защиту от шума следует выполнять в соответствии с гост 12.1.003-76, а звукоизоляция ограждающих конструкций должна отвечать требованиям главы снп «защита от шума. нормы проектирования»</p> <p>при повышенном уровне напряженности полей следует сократить время работы за компьютером, делать пятнадцатиминутные перерывы в течении полутора часов работы и, конечно же, применять защитные экраны.</p>
<b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b>	<p>Воздействие на селитебную зону: не выявлено</p> <p>Воздействие на литосферу: загрязнение почв отходами производства и утилизации компьютерной техники</p> <p>Воздействие на гидросферу: не выявлено</p> <p>Воздействие на атмосферу: газы, выделяемые при утилизации офисной бумаги и оборудования</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b>	<p>Возможные ЧС:</p> <p>- пожар, взрыв.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар, возникающий вследствие неисправности электрооборудования.</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д92	Безруких Полина Дмитриевна		04.05.2023

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 132 с., 17 рисунков, 30 таблиц, 67 источников литературы.

Ключевые слова: нефтепереработка, каталитический крекинг, моделирование, сернистые соединения, газойль, бензин.

Объектом исследования является процесс каталитического крекинга вакуумного газойля.

Цель работы – разработка математической модели каталитического крекинга вакуумного газойля, учитывающей превращения сернистых соединений.

В процессе исследования проведен анализ заводских данных, выполнены лабораторные исследования сырья и продуктов каталитического крекинга, разработана схема превращений углеводородов и сернистых соединений в процессе каталитического крекинга. В результате исследования разработана и программно-реализована математическая модель каталитического крекинга вакуумного газойля, учитывающая превращения сернистых соединений с целью прогнозирования выхода и состава продуктов процесса, а также экологических показателей моторных топлив. В разделах финансовый менеджмент и социальная ответственность произведены экономический расчет проекта по созданию математической модели и рассмотрены всевозможные опасные и вредные факторы в ходе проекта.

Область применения: нефтеперерабатывающая промышленность.

## Содержание

РЕФЕРАТ .....	12
ВВЕДЕНИЕ .....	15
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	17
1.1 Современные технологии каталитического крекинга гидроочищенного и негидроочищенного нефтяного сырья .....	17
1.2 Катализаторы крекинга .....	23
1.3 Характеристика сырья каталитического крекинга .....	24
1.4 Физико-химические закономерности каталитического крекинга .....	26
1.5 Влияние гетероатомных соединений на катализаторы крекинга, показатели и эффективность процесса .....	33
1.6 Подготовка сырья каталитического крекинга к переработке .....	38
1.7 Методы определения серы в сырье и продуктах каталитического крекинга .....	41
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	49
2.1 Характеристика объекта исследования .....	49
2.2 Методы исследования .....	50
3. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА С УЧЕТОМ ПРЕВРАЩЕНИЙ СЕРНИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....	55
3.1 Мониторинг работы промышленной установки каталитического крекинга .....	55
3.2 Экспериментальное определение состава сырья и продуктов каталитического крекинга негидроочищенного нефтяного сырья .....	60
3.3 Разработка реакционной схемы процесса каталитического крекинга с учетом превращений сернистых соединений .....	65
3.4 Разработка математической модели процесса каталитического крекинга .....	72
3.5 Прогнозирование выхода и состава продуктов каталитического крекинга при переработке негидроочищенного и гидроочищенного потоков .....	78

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	83
4.1 Описание продукта.....	83
4.2 Анализ конкурентных решений .....	84
4.3 Потенциальные потребители.....	86
4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию.....	88
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	93
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	105
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ....	106
5.2 Производственная безопасность .....	112
5.3 Экологическая безопасность .....	115
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	119
Список публикаций.....	121
Список литературных источников .....	123

## **ВВЕДЕНИЕ**

Процесс каталитического крекинга является одним из наиболее значимых технологий переработки высокомолекулярного нефтяного сырья в компоненты моторного топлива и сырье для нефтехимической промышленности.

Содержание серы в сырье каталитического крекинга может существенно изменяться, например, по причине изменения содержания серы в сырье процессов предварительного гидрооблагораживания, остановки или нарушения технологического режима и избытка смесового негидроочищенного потока.

Продукты каталитического крекинга – бензины и дизельные фракции не являются товарными и используются в качестве компонентов, вовлекаемых в процесс компаундирования бензинов. Основным ограничением при вовлечении бензина крекинга в процесс компаундирования товарного бензина является высокое содержание серы в продуктах, около 80–85 % серы поступает в товарный бензин с потоком бензина каталитического крекинга.

Поэтому прогнозирование содержания сернистых соединений в продуктах крекинга является важным особенно для установок, перерабатывающих гидроочищенное нефтяное сырье, поскольку в этом случае компоненты моторного топлива направляются на компаундирование без стадии гидроочистки.

В зависимости от режимов процессов гидроочистки вакуумного газойля содержание серы в сырье процесса каталитического крекинга может изменяться в широком диапазоне, увеличивая содержание сернистых соединений в продуктах процесса и коксообразование на катализаторе. Увеличение содержания серы в сырье крекинга, вызывает рост содержания серы в продуктах, ограничивая тем самым долю бензина крекинга в товарном продукте.

Разработка математической модели процесса каталитического крекинга с учетом превращений сернистых соединений является актуальной задачей, которая может обеспечить повышение эффективности и экологической безопасности процесса.

Такая модель позволит более точно прогнозировать процессы, происходящие в реакторе, а также оценивать эффективность работы катализатора при различных условиях. Для создания такой модели необходимо провести комплекс исследований, включающих как экспериментальные, так и теоретические аспекты. Важным этапом будет разработка методов анализа и обработки данных, которые будут получены в ходе экспериментов.

При разработке математической модели процесса каталитического крекинга с учетом превращений сернистых соединений необходимо учитывать также влияние других факторов, таких как давление, температура, скорость потока сырья, кратность циркуляции катализатора и др. Эти факторы могут оказывать значительное влияние на показатели процесса крекинга и превращение сернистых соединений.

Таким образом, разработка математической модели процесса каталитического крекинга с учетом превращений сернистых соединений является многофакторной задачей, требующей комплексного подхода и использования современных методов исследования.

Целью работы является разработка математической модели каталитического крекинга вакуумного газойля, учитывающей превращения сернистых соединений

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Современные технологии каталитического крекинга гидроочищенного и негидроочищенного нефтяного сырья

Шведский ученый Йенс Якоб Берцелиус ввел термин «катализ» в 1835 году. Катализ - это процесс, включающий множество стадий, который заключается в изменении скорости и механизма химических реакций с помощью катализатора, который образует промежуточные химические соединения с веществами, участвующими в реакции [1-2]. Производство до 90% всей химической продукции в мире сегодня осуществляется каталитическим путем. Потому от развития катализа во многом зависит технологический прогресс нефтехимической, химической, нефтеперерабатывающей и других промышленных сфер [2].

Следует отметить, что процессы нефтепереработки, такие как каталитический крекинг, реформинг, гидроочистка, коксование, алкилирование, изомеризация и другие, базируются на катализе [3]. Это связано с тем, что катализ позволяет значительно повысить качество и выход продукции за счет снижения энергетических затрат на протекание процессов. Например, катализаторы используются в каталитическом крекинге нефти для расщепления тяжелых нефтяных фракций на более легкие, что позволяет получать высокооктановый компонент товарного бензина и компонент дизельного топлива. Реформинг с помощью катализатора позволяет преобразовывать низкокачественный бензин в высокооктановый. В процессе гидроочистки происходит удаление серо- и азотсодержащие соединения из нефтепродуктов, повышая их экологическую чистоту. Алкилирование позволяет получать высокооктановый компонент бензина из низкооктановых фракций и т.д. Развитие катализа имеет значительное значение для эффективной и экологически безопасной производственной деятельности промышленности [2, 3].

Для производства высокооктанового бензина, ценных сжиженных газов и других нефтехимических продуктов применяется каталитический крекинг, который представляет собой процесс расщепления молекул тяжелых углеводородов. Сырьем для крекинга являются вакуумный и атмосферный газойли. Результатом процесса являются нефтяные фракции, которые используются в технологических процессах на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах. Получаемые продукты крекинга, такие как бензиновая фракция, находят широкое применение в производстве автомобильных бензинов. Каталитический крекинг является одним из основных процессов углубленной переработки нефти и определяет технико-экономические показатели нефтеперерабатывающих заводов. Получающийся легкий газойль используется в производстве дизельного топлива. Тяжелый газойль богатый полициклическими ароматическими углеводородами, используется как сырье для производства высококачественного электродного кокса или технического углерода, а также как компонент мазута.

Помимо этого, данный процесс является важным источником сырья для нефтехимической промышленности, так как из отдельных фракций, полученных в результате крекинга, могут быть получены различные химические вещества, такие как кумол, толуол, ксилол и другие. Таким образом, каталитический крекинг является одним из ключевых процессов в нефтяной промышленности, который позволяет получать ценные нефтепродукты и сырье для химической промышленности.

В России процесс реализован на 15 предприятиях, суммарная мощность установок крекинга составляет около 24 млн. т /год. Строительство установок каталитического крекинга в нашей стране началось в 1952 году и продолжается в настоящее время одновременно с реконструкцией и выводом из эксплуатации старых установок.

### **1.1.1 Реакторы с движущимся слоем катализатора**

В технологиях с движущимся слоем катализатора гранулированный катализатор, который был регенерирован, доставляется в бункер с использованием системы пневмотранспорта и напорного стояка, откуда направляется в реактор. Посредством распределительного устройства катализатор распределяется одновременно в периферийную зону реакции и в смешительную зону. При этом осуществляется подача сырья по центру, а катализатора - через кольцевой зазор [6]. Катализатор выводится из реактора через отпарную зону, а продукты реакции по боковым карманам поднимаются вверх и удаляются из реактора тремя потоками. Данная траектория обеспечивает предотвращение потери катализатора из реактора. Избавившись от продуктов реакции, катализатор выводится через стояки выравнивающего устройства с подачей "запирающего" водяного пара, и отправляется в систему пневмотранспорта для последующей переработки.

Катализатор поступает в дозер и предварительно смешивается со смесью воздуха и дымовых газов, поступающей через боковые патрубки. Далее смесь подхватывается основным потоком пневмотранспорта, поступающим по центральному штуцеру с низа дозера. Затем смесь катализатора, дымовых газов и воздуха проходит разгонный участок, состоящий из сужающего устройства и диффузора, и набирая первоначальную скорость, поступает в пневмотвол[8-10].

### **1.1.2 Реакторы с кипящим слоем катализатора**

Реакторы современных установок крекинга с кипящим слоем катализатора - это вертикальные цилиндрические аппараты с коническими или полушаровыми днищами, диаметром 2500-12000 мм и высотой до 27000 мм. Работающая температура обычно составляет 450-480°C, а корпус аппарата изготавливается из углеродистой стали или биметалла [11-12].

Крекинговые установки с кипящим слоем катализатора работают следующим образом: сырье, разогретое до 400°C, смешивается с горячим катализатором, который приходит из регенератора через стояк, полученная смесь направляется в реактор. Кипящий слой катализатора, паров сырья и воды поддерживается при определенной высоте и температуре, и равномерно распределяется по всему аппарату. После реакции смесь паров углеводородов, водяных паров и уносимых частиц катализатора, которые не осели в отстойной зоне реактора, направляется в циклонные сепараторы, где происходит улавливание катализаторной пыли. В циклонах пыль возвращается обратно в кипящий слой через стояк, а пары направляются в ректификационную колонну.

Закоксованный катализатор из реактора подают в регенератор, где также поддерживается кипящий слой определенной высотой. В этом слое происходит выжигание кокса [7] воздухом при температуре 580-650°C. Температуру регулируют с помощью змеевиков пароперегревателя, которые отбирают избыточное тепло из кипящего слоя. Завершив выжигание кокса, регенерированный катализатор отправляют обратно в реактор.

### **1.1.3 Реакторы с лифт-реактором**

Реактор представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат переменного сечения. Регенерированный катализатор из регенератора при температуре 650...700 °C поступает по напорному стояку в нижнюю часть лифт-реактора, где контактирует с распыленным с использованием форсунок сырьем. В результате теплообмена катализатор частично охлаждается до температуры 500...510 °C, а выделившееся тепло расходуется на нагрев и испарение сырья. При этом начинаются реакции каталитического крекинга с отложением кокса на частицах катализатора. Образовавшийся парогазовый поток транспортирует катализатор вверх по стволу лифт-реактора.

Внутренний диаметр лифт-реактора и длину реакционной части определяют исходя из заданной производительности установки по сырью и условий проведения процесса. Отношение длины реакционной части лифт-реактора к его диаметру обычно составляет  $(20...25)/1,0$ .

Использование баллистического сепаратора увеличивает степень разделения катализатора и продуктов крекинга, что способствует более эффективному завершению процесса крекинга. Подвижная опора позволяет регулировать высоту расположения баллистического сепаратора в зависимости от типа катализатора, используемых температур и других параметров процесса. Таким образом, можно достичь наилучшей эффективности работы установки, а также уменьшить затраты на обслуживание и ремонт оборудования. Пройдя баллистический сепаратор, катализатор поступает в десорбер, где отпаривается в противотоке с водяным паром. Десорбер секционирован каскадными перфорированными конусами, препятствующими созданию поршневого режима. В нижней части десорбера установлены кольцевые коллекторы для ввода водяного пара. Лифт-реактор как правило оборудован форсунками для ввода шлама, т. е. части остатка из ректификационной колонны, содержащей унесенный из реактора катализатор с целью регулировки теплового баланса реакторно-регенераторного блока.

Для уменьшения количества катализатора, который уносится в ректификационную колонну и рециркулирующего шлама в верхней части реактора, могут быть установлены одно- или двухступенчатые циклоны. На спускных стояках циклонов устанавливаются клапаны-мигалки, которые открываются только под давлением столба катализатора, скапливающегося в спускном стояке [13-14].

### **1.1.4 Технология каталитического крекинга Миллисеконд (MS)**

При каталитическом крекинге на установке MS, продолжительность контакта сырья с катализатором изменяется от 6,5 до 10,5 секунд в зависимости от производительности от 150 до 250 тонн в час. Реакционный объем реактора разделяется на три зоны с разными размерами и объемом реакционной смеси. В каждой зоне время контакта с катализатором уменьшается благодаря увеличению скорости потока. Это сокращение времени контакта является важным фактором для предотвращения образования кокса и газа в процессе реакции.

Первая зона находится над секцией отпарки катализатора и имеет объем около 80 м<sup>3</sup>. Здесь контакт продуктов с основной массой катализатора занимает от 0,8 до 1,5 секунды, а общее время пребывания сырья в реакционной смеси составляет от 4 до 8 секунд. Вторая зона с объемом 23 м<sup>3</sup> обеспечивает повышение общей конверсии сырья до 68-69%. Время контакта продуктов с катализатором здесь не превышает 0,5-1 секунды, что исключает перекрекинг продуктов реакции. Объем продуктов реакции и их скорость увеличиваются до 12-14 м/с на выходе из второй зоны, что обеспечивает продолжительный и стабильный процесс реакции.

Для обеспечения эффективного процесса каталитического крекинга необходима оптимальная температура и давление в реакторе. Это достигается путём автоматического контроля и регулирования параметров реактора. Внутри реактора температура устанавливается на уровне 500-550 °С, а давление - 2-3 МПа.

Реактор работает в режиме непрерывного процесса, где на вход поступает сырье, а на выходе получается бензин, которому затем проводятся дополнительные процедуры очистки и дистилляции. Общая эффективность каталитического крекинга зависит от различных факторов: качества

катализатора, времени контакта сырья с катализатором, пропорций компонентов сырья и многих других.

Каталитический крекинг является важным процессом в производстве бензина и других нефтепродуктов. Он позволяет получать большое количество легких углеводородов из более тяжелых видов сырья, что значительно увеличивает эффективность производства и снижает затраты на добычу нефти.

Таким образом, время контакта или реакции определяется продолжительностью пролета зерен катализатора через слой паров сырья. Это время составляет очень малую величину, но именно в этот промежуток должны завершиться основные реакции крекинга, приводящие к получению целевых продуктов [14-15].

В зависимости от технологии, типа сырья и назначения процесса существует широкий ассортимент катализаторов, который подбирается в зависимости от технологических задач.

## **1.2 Катализаторы крекинга**

Современные катализаторы для крекинга представляют собой сложные системы с активным компонентом цеолита Y (15-25% мас.) и аморфным алюмосиликатом (75-85% мас.), которые обеспечивают его стабильность. Для повышения выхода легких олефинов и улучшения октанового числа бензина в состав катализатора добавляют цеолит ZSM-5 [17-19]. Хотя это снижает крекинговую активность, но увеличивает выход легких олефинов и повышение октановых характеристик бензиновой фракции. Для повышения экологической безопасности к катализатору крекинга добавляют катализаторы окисления CO. Они содержат металлы платиновой группы, редкоземельные элементы и оксид магния. Реакции каталитического крекинга происходят на поверхности катализатора, где

отлагается кокс, поэтому частая регенерация катализатора (выжигание кокса) является важной особенностью каталитического крекинга [17].

Недостатком всех цеолитов [18-19] является их не высокая механическая прочность в чистом виде, и поэтому они в качестве промышленного катализатора не используются. Обычно их вводят в диспергированном виде в матрицу катализаторов в количестве 10-20% мас.

Добавки, используемые в катализаторах крекинга, могут улучшить или придать специфические физико-химические и механические свойства алюмосиликатных катализаторов с цеолитом. Без этих добавок катализаторы не могут удовлетворить всем комплексу требований, предъявляемых в современной промышленности. Например, только кислотная активность матрицы и цеолита в составе катализаторов недостаточна для интенсивной регенерации закоксованного катализатора, поэтому требуются металлические центры, которые катализируют реакции окислительно-восстановительного типа [20-23]. Современные процессы крекинга требуют также оптимизации дополнительных свойств катализаторов, например, их износостойкости, механической прочности, стойкости к отравлению металлами сырья и экологической чистоты газовых выбросов в атмосферу.

### **1.3 Характеристика сырья каталитического крекинга**

Качество сырья [24] для процесса каталитического крекинга можно условно подразделить на три группы, которые влияют на различные показатели [25-26]. Первая группа характеризуется показателями, влияющими на выход и качество продуктов крекинга, такие как фракционный и групповой химический состав и содержание гетероорганических соединений. Вторая группа содержит показатели, влияющие на обратимую дезактивацию катализатора, такие как плотность, коксуемость и содержание сернокислотных смол. Третья группа включает

показатели, влияющие на необратимую дезактивацию катализатора, особенно содержание металлов, в частности ванадия и никеля.

Для сырья, используемого в процессе крекинга, предъявляются требования по фракционному составу [27]. Первое требование заключается в отсутствии или минимальном присутствии бензинолигроиновых фракций, так как они мало претерпевают превращения в условиях крекинга и могут отрицательно повлиять на качество бензина, а также загружают реакционный аппарат. Второе требование касается ограниченного содержания фракций, выкипающих до 350°C, которое не должно превышать 10%. Наконец, третье требование состоит в ограничении температуры конца кипения в пределах 500-620°C, поскольку в высококипящих фракциях концентрируются коксогенные компоненты сырья, такие как смолы и асфальтеновые соединения, а также гетероорганические соединения и металлы. Вместе с тем, на специализированных установках каталитического крекинга перерабатывают бензиновые фракции с двумя реакционными системами.

Также групповой химический состав сырья имеет значительное влияние на выход и качество продуктов крекинга. В большинстве вакуумных газойлей, которые используются для каталитического крекинга, содержание групповых компонентов колеблется в широких пределах в зависимости от типа исходной нефти, включая парафиновые соединения в диапазоне от 15% до 35%, нафтеновые в диапазоне от 20% до 40% и ароматические в диапазоне от 15% до 60% [28].

Для достижения максимальной эффективности процессов крекинга и обеспечения высокого качества продуктов также необходимо контролировать параметры процесса, такие как температура, давление, скорость потока, состав катализатора и длительность контакта между сырьем и катализатором.

Одним из важных параметров является температура, которая определяет степень дезактивации катализатора и скорость протекания

реакций. При этом необходимо соблюдать оптимальный диапазон температур, который зависит от типа используемого катализатора и сырья.

Давление также играет важную роль в процессе крекинга, так как от него зависит степень протекания реакции и качество получаемых продуктов. Обычно используются давления в диапазоне от 1 до 3 МПа [29].

Скорость циркуляции потоков сырья и катализатора тоже важна для достижения оптимальных результатов. Слишком медленная скорость может привести к недостаточной эффективности реакций, а слишком быстрая – к высокой деградации катализатора.

Наконец, состав катализатора и длительность контакта между сырьем и катализатором также влияют на процесс крекинга и качество получаемых продуктов. Оптимальный выбор катализатора и его состава требует серьезных научных исследований и практических испытаний, что является одним из ключевых направлений развития процессов крекинга.

#### **1.4 Физико-химические закономерности каталитического крекинга**

При проведении каталитического крекинга сырья необходимо учитывать несколько факторов, включая состав сырья, свойства катализатора, температуру, продолжительность контакта сырья с катализатором, кратность последнего к сырью и т.д. Эти факторы оказывают значительное влияние на интенсивность реакций и качество полученных продуктов. Для предсказания результатов каталитического крекинга с высокой точностью необходимо учитывать не только реакции разрыва С-С связей, но также изменения структуры углеродного скелета молекул.

В процессе каталитического крекинга при температуре 450-550°C, давлении 0,1-0,3 МПа и с использованием катализатора, реакции разрыва С-С связей играют наиболее важную роль [15]. Такие реакции включают:

- Крекинг парафиновых углеводородов, также известных как алканы;

-Крекинг нафтеновых углеводородов (циклоалканов), с образованием непредельных углеводородов, таких как алкены;

- Деалкилирование боковых цепей алкилароматических углеводородов;

- Расщепление боковых цепей алкилароматических углеводородов и раскрытие нафтеновых колец нафтено-ароматических углеводородов;

- Крекинг непредельных углеводородов с образованием более коротких алкенов;

- Изомеризация алканов и алкенов;

-Перераспределение алкильных групп между ароматическими углеводородами;

- Перераспределение водорода;

-Полимеризация алкенов, конденсация аренов и коксообразование.

Свойства углеводородов различаются по их реакционной способности к разрыву связи C-C, при этом наиболее высокую реакционную способность проявляют алкены и циклоалкены, а самую низкую - моноалкилбензолы с числом атомов углерода в алкильном заместителе менее 3 [31]. При каталитическом крекинге смеси углеводородов происходят все перечисленные реакции одновременно. Образование карбкатионов [39], т.е. органических ионов с положительным зарядом на одном из атомов углерода, является промежуточным этапом в каталитическом крекинге и происходит путем протонации насыщенных углеводородов или присоединения протона к ненасыщенным углеводородам. Реакция крекинга может произойти только тогда, когда углеводород достаточно близко подойдет к поверхности катализатора и окажется в зоне действия кислотного центра Бренстеда или кислотного центра Льюиса [4]. Основным источником карбкатионов являются алкены, которые образуются при термическом распаде сырья, и протоны, которые генерируются катализаторами кислотного типа [5].

Возможен и другой путь. Во-первых, за счет отрыва гидрид-иона под действием протонного центра катализатора:



Во-вторых, за счет отрыва гидрид-иона под действием апротонного катализатора:



Путем внутренней перегруппировки или взаимодействия с другими молекулами карбокатионы стремятся перейти в более устойчивые формы. Эти соединения обладают большой реакционной способностью и способны участвовать в различных реакциях. Механизм каталитического крекинга напоминает цепную свободно-радикальную реакцию термического распада углеводородов, но имеет свои отличительные черты.

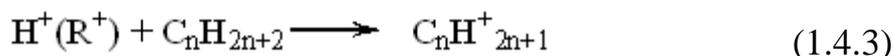
В первую очередь на катализаторе сорбируются ненасыщенные соединения, такие как диолефины, алкены и арены, запуская цепную реакцию, адсорбция алканов при работе со сложным сырьем незначительна. Именно поэтому ускорение реакций крекинга в присутствии катализаторов для алкенов и аренов значительно превышает ускорение распада алканов [30].

Катализатор, сорбирующий углеводороды при каталитическом крекинге, замедляет реакции слабо сорбирующихся углеводородов. В отличие от термического крекинга, считается, что селективность процесса каталитического крекинга обусловлена различием в константах скорости реакций.

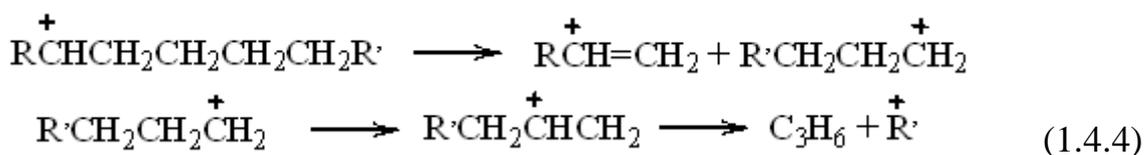
При каталитическом крекинге происходят процессы перераспределения и диспропорционирования, что приводит к образованию кокса, являющегося продуктом основного каталитического процесса. Водород, потерянный при адсорбции молекулами сырья на катализаторе, используется для насыщения различных осколков молекул и, в первую очередь, для гидрирования изомеризованных алкенов.

При каталитическом крекинге происходят реакции изомеризации, в результате которых в продуктах крекинга накапливаются изоалканы, включая высокое содержание изобутана в крекинг-газе.

Алканы - как и при термическом крекинге, распадаются на алкен и алкан меньшей молекулярной массы:



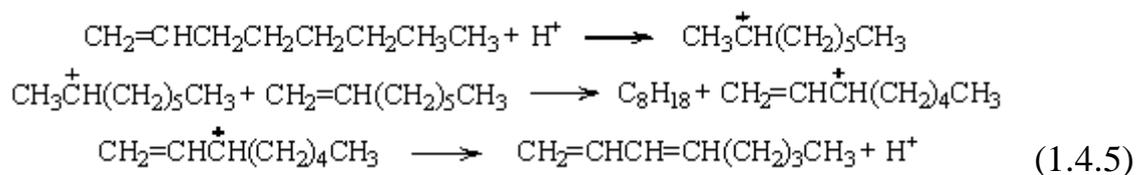
Быстрая изомеризация первичных ионов во вторичные приводит к тому, что этилен образуется в количествах, значительно меньших, чем пропилен, образующийся по схеме:



При каталитическом крекинге цепь углеводородов распадается не на краю цепи, а в нескольких местах, так как такие реакции проходят более эффективно. Это приводит к незначительному выходу метана, этана и этилена, и к накоплению углеводородов C1-C4 в газе.

Стоит отметить, что скорость распада алкенов при каталитическом крекинге на 2-1,6 раза выше, чем скорость распада соответствующих алканов, так как образование карбокатионов из алкенов происходит быстрее благодаря присоединению протона. Алкены также могут участвовать в разных реакциях, включая изомеризацию, циклизацию, полимеризацию-деполимеризацию и перераспределение водорода.

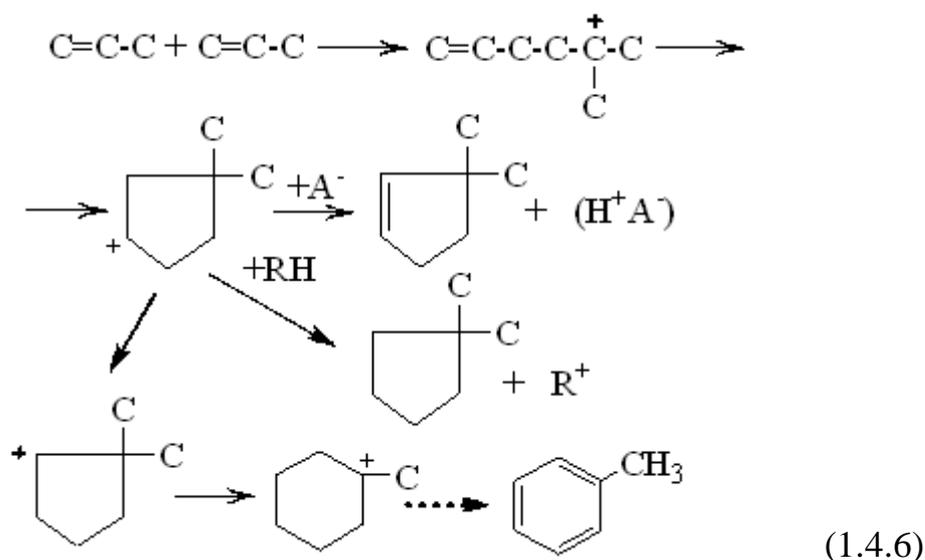
Механизм реакции перераспределения водорода может быть представлен следующей схемой:



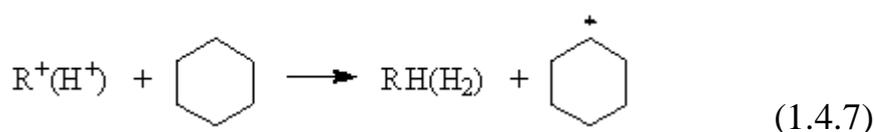
При адсорбции на катализаторе алкены теряют молекулы водорода и, если они являются сильно ненасыщенными, могут подвергаться

полимеризации и циклизации. По мере того, как алкены обедняют водородом, они могут превращаться в кокс.

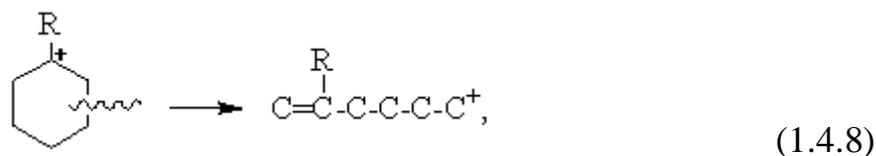
Циклизация алкенов может привести к формированию различных соединений, таких как циклопентаны, циклопентены и арены. Пятичленные циклы могут изомеризироваться в шестичленные, а затем ароматизироваться. Образование циклопарафинов, циклоолефинов и ароматических углеводородов может быть объяснено следующей схемой механизма реакции:



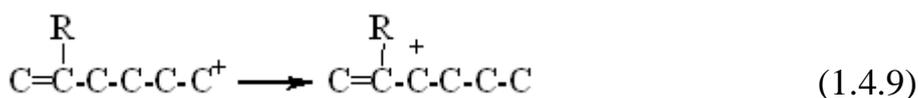
Циклоалканы при каталитическом крекинге образуют карбокатионы так же, как и парафины:



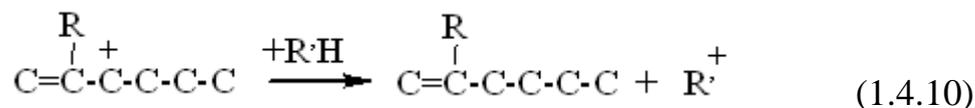
Реакции, характерные для крекинга циклоалканов: деалкилирование, дегидрирование, распад кольца. Распад кольца происходит вначале с образованием алкенильного иона по следующей схеме:



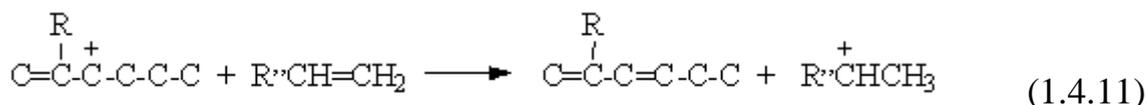
который легко изомеризуется в ион аллильного типа:



Распад иона аллильного типа на диен и этильный карбокатион энергетически затруднен, и более вероятна реакция отрыва гидрид-иона:

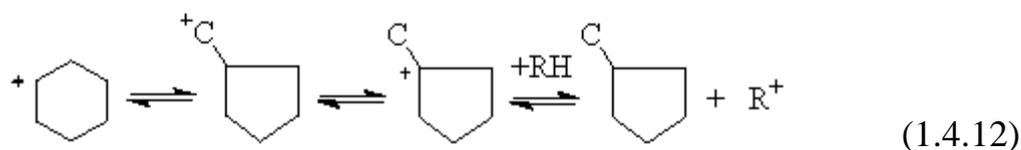


или передача протона:

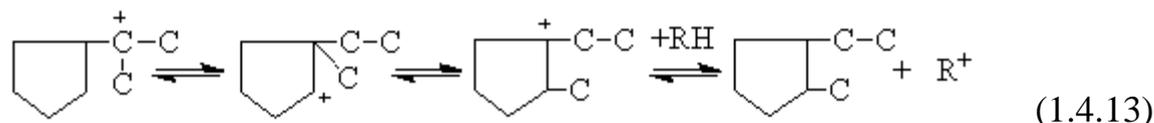


В результате образуются олефиновые углеводороды и при дальнейших реакциях перераспределения водорода и уплотнения диеновых углеводородов - кокс.

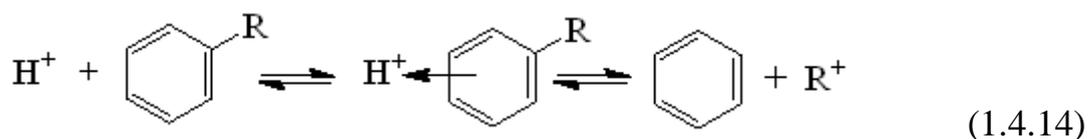
Наблюдаются также реакции изомеризации циклов, протекающие по схеме:



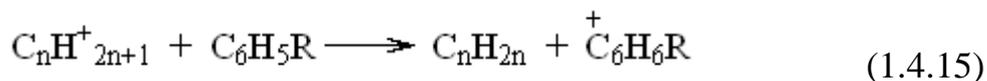
и перераспределение боковых цепей (миграция заместителей):



В алкилциклопарафинах помимо других реакций происходит крекинг алкильных цепей. Арены легко присоединяют протоны к системе связей, и в результате каталитического крекинга алкилароматических углеводородов происходит деалкилирование.

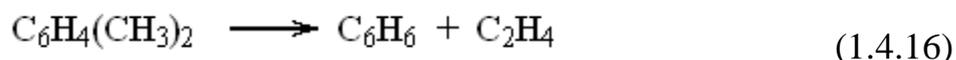


В случае алкилбензолов, содержащих в алкильном заместителе 2-4 атома углерода, образующиеся алкильные карбокатионы устойчивы относительно распада, и наиболее быстрой для них является реакция:



или просто десорбция алкена с передачей протона катализатору.

В результате протекает реакция диспропорционирования метильных групп и при каталитическом крекинге толуола образуются бензол и ксилолы, при крекинге ксилолов - триметилбензолы и толуол. Для полиметилбензолов наблюдается в некоторой степени реакция типа:

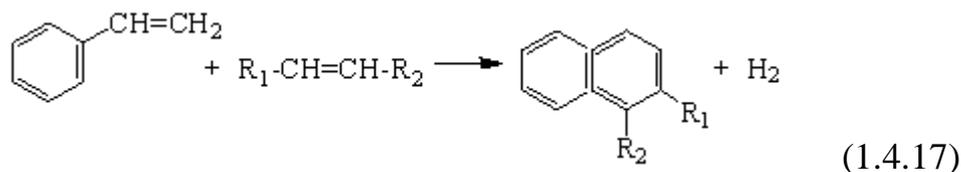


Кокс образуется на катализаторе, в основном, за счет крекинга ароматических углеводородов и, блокируя активные центры, снижает его активность [4].

Наиболее вероятными реакциями образования кокса являются:

- а) перенос водорода: циклоалкан + алкен = ароматический углеводород + алкан, ароматический предшественник кокса + алкен = кокс + алкан;

- б) реакции конденсации:



Образовавшиеся полициклические ароматические соединения способны вступать в дальнейшие реакции алкилирования и конденсации с превращением в более уплотненные высокомолекулярные углеводороды, и далее в кокс.

В процессе каталитического превращения углеводородов образуется кокс, который имеет полиароматическую структуру, состоящую из конденсированных циклов [46-47]. Углеводороды с большой ненасыщенностью и высокой молярной массой могут необратимо адсорбироваться на поверхности катализатора, что приводит к блокированию активных центров и потере активности катализатора, требующего регенерации. Скорость образования кокса на катализаторе при каталитическом крекинге уменьшается в зависимости от типа

углеводородной смеси в ряду: бициклические ароматические углеводороды, моноциклические ароматические углеводороды и алкены, циклоалканы, алканы. Увеличение степени конверсии сырья, кислотности катализатора и длительности контакта с сырьем увеличивают скорость коксообразования. Для очистки поверхности катализатора от кокса применяется их окисление в среде воздухом. Кокс является нежелательным продуктом, однако необходим для балансировки теплового баланса системы [46], так как его окисление в регенераторе выделяет теплоту, которая компенсирует поглощение энергии в реакторе процесса крекинга.

Наряду с реакциями с участием углеводородов, протекают превращения гетероатомных соединений в ходе каталитического процесса.

### **1.5 Влияние гетероатомных соединений на катализаторы крекинга, показатели и эффективность процесса**

Нефтяные гетероатомные соединения, такие как серо-, азот- и кислородсодержащие структуры, являются нежелательными компонентами в процессе каталитического крекинга, так как они могут ухудшить экологические показатели топлива, вызвать коррозию и являться ядами для катализаторов. Они также могут структурировать себя и действовать как поверхностно-активные вещества, что делает их трудными для удаления из нефтяных фракций. Для эффективной подготовки сырья к крекингу обычно используют гидрогенизационные процессы.

#### **1.5.1 Влияние сернистых соединений на эффективность процесса каталитического крекинга**

Среди сернистых соединений вакуумных дистиллятов наиболее распространенными являются ароматические серосодержащие соединения, сульфиды, особенно тиоцикланы, содержащие до 7 конденсированных

нафтеновых колец. В процессе крекинга наименее стабильными соединениями являются меркаптаны, ди- и полисульфиды, которые разлагаются при температурах ниже 100-110°C. Сульфиды более устойчивы, но их деструктивное воздействие на топливо происходит при более высоких температурах (более 360-370°C), что может приводить к образованию оксидов серы, вредных для окружающей среды. По этой причине наличие сернистых соединений в нефтепродуктах является нежелательным. Гидроочистка может помочь удалять атомы серы и другие гетероатомные соединения, а гидрогенизация – преобразовывать сернистые соединения в углеводороды [30].

Сернистые соединения (например, [30] сероводород, меркаптаны, сульфиды) могут существенно влиять на эффективность процесса каталитического крекинга из-за их ядовитой природы для катализатора. Реакции, происходящие в каталитическом крекинге, осуществляются на поверхности катализатора, а сернистые соединения могут приводить к блокировке активных центров катализатора и снижению его активности.

Кроме того, [17] сернистые соединения могут привести к образованию нежелательных продуктов, таких как сернистые оксиды и серу, которые могут повредить оборудование и загрязнить окружающую среду.

Также существуют требования к содержанию серы в автомобильном и авиационном бензине, дизельном и судовом топливе, топливе для реактивных двигателей и мазуте в рамках технического регламента таможенного союза [31].

Чтобы минимизировать влияние сернистых соединений, используют специальные катализаторы, устойчивые к сернистым соединениям и обеспечивающие их удаление. Также применяют специальные методы очистки сырья, такие как гидроочистка или механическая фильтрация, чтобы снизить содержание сернистых соединений [17].

Кроме того, в процессе каталитического крекинга может применяться газоочистка для удаления сернистых соединений из сырья перед

прохождением через катализатор. Также возможно применение специальных веществ, называемых "сероуловители", которые могут привести к конверсии сернистых соединений в менее опасные продукты и предотвратить их попадание на катализатор.

Одним из методов защиты катализатора от влияния сернистых соединений является использование инертных газов [22], таких как азот, чтобы создать в процессе каталитического крекинга инертную атмосферу, уменьшающую концентрацию сернистых соединений на поверхности катализатора.

Более того, строгие требования к качеству сырья в сочетании со современными методами гидроочистки и очистки от сернистых соединений позволяют добиться эффективности процесса каталитического крекинга на высоком уровне и в значительной степени снизить его негативное влияние на окружающую среду.

### **1.5.2 Влияние кислородсодержащих соединений на эффективность процесса**

В процессе каталитического крекинга кислородсодержащие соединения могут оказать как положительное, так и отрицательное влияние на эффективность процесса.

С одной стороны, кислород может взаимодействовать с катализатором [32] и дополнительно окислять углеводороды, что приводит к увеличению скорости реакции и улучшению конверсии сырья.

С другой стороны, кислород может также взаимодействовать с продуктами реакции, например [33], циклопентадиеном, образующимся при каталитическом крекинге некоторых нефтяных фракций, и способствовать их окислению в нежелательные соединения, что снижает эффективность процесса.

Таким образом, эффективность процесса каталитического крекинга зависит от конкретных условий, и необходимо учитывать влияние кислородсодержащих соединений на процесс при планировании и его оптимизации.

Одним из распространенных методов уменьшения влияния кислородсодержащих соединений является предварительная очистка сырья [33]. Так, например, до начала процесса каталитического крекинга нефти проводится ее гидроочистка, где кислородсодержащие соединения удаляются с помощью водорода. Это позволяет снизить их количество и уменьшить влияние на процесс.

Кроме того, в процессе каталитического крекинга используются специальные катализаторы, которые могут быть более устойчивы к воздействию кислородсодержащих соединений [17]. Например, для каталитического крекинга легких нефтей могут применяться катализаторы на основе кремнезема, которые проявляют высокую стабильность в условиях кислородсодержащих соединений.

Важно отметить, что влияние кислородсодержащих соединений на эффективность процесса каталитического крекинга может быть усилено в условиях пониженного давления и высокой температуры. Поэтому при планировании процесса необходимо учитывать и эти факторы.

### **1.5.2 Влияние азотсодержащих соединений на эффективность процесса**

Азотсодержащие соединения, такие как аммиак, нитраты, нитриты и другие, также могут оказывать влияние на эффективность процесса каталитического крекинга.

Во-первых, азотсодержащие соединения могут снижать активность катализатора, что приводит к снижению конверсии сырья и образованию большего количества нежелательных побочных продуктов. Во-вторых,

азотсодержащие соединения могут привести к закупорке катализатора, что приводит к уменьшению его поверхности и снижению активности.

Для снижения влияния азотсодержащих соединений в процессе каталитического крекинга могут применяться различные методы. Одним из таких методов является использование специальных катализаторов [17], которые могут обрабатывать азотсодержащие соединения. Такие катализаторы могут быть более устойчивы к воздействию азотсодержащих соединений, что позволяет снизить влияние на процесс крекинга.

Также для снижения концентрации азотсодержащих соединений в сырье перед процессом крекинга может проводиться их предварительная очистка. Например, в процессе дистилляции или вакуумной деэмульгации [36] могут быть удалены водорастворимые азотсодержащие соединения.

Кроме того, в процессе каталитического крекинга могут использоваться специальные условия, которые позволяют снизить влияние азотсодержащих соединений. Например, использование повышенного давления и температуры может способствовать увеличению активности катализатора и снижению влияния азотсодержащих соединений.

Важно отметить, что влияние азотсодержащих соединений на процесс каталитического крекинга может быть индивидуальным для каждого типа сырья и катализатора. Поэтому для оптимизации процесса необходимо проводить исследования и эксперименты, а также учитывать конкретные условия производства [37].

### **1.5.3 Влияние тяжёлых металлов на эффективность процесса**

Тяжелые металлы, такие как свинец, никель, кадмий, медь, железо и др., могут оказывать негативное влияние на эффективность процесса каталитического крекинга.

Во-первых, тяжелые металлы могут оседать на поверхности катализатора [17], что приводит к уменьшению его поверхности и

активности. Также тяжелые металлы могут приводить к деградации катализатора и снижению его срока службы. Во-вторых, тяжелые металлы могут оказывать влияние на сам процесс крекинга. Например, свинец и никель могут катализировать образование алкилбензолов и других нежелательных продуктов крекинга.

Для уменьшения влияния тяжелых металлов применяются специальные методы и технологии. Так, проводятся предварительная очистка сырья и катализатора от тяжелых металлов, например, с помощью химической обработки [36]. Также могут применяться специальные катализаторы, которые более устойчивы к воздействию тяжелых металлов.

Одним из способов защиты катализатора от влияния тяжелых металлов является использование инертных подложек, которые предотвращают осаждение тяжелых металлов на поверхности катализатора. Также могут быть использованы различные способы регенерации катализатора, которые позволяют уничтожить тяжелые металлы и восстановить его активность.

Важно отметить, что эффективность процесса крекинга зависит от концентрации тяжелых металлов и условий процесса. Поэтому для оптимизации процесса необходимо учитывать конкретные условия производства и проводить соответствующие мероприятия для защиты катализатора от воздействия тяжелых металлов.

## **1.6 Подготовка сырья каталитического крекинга к переработке**

Существует подготовка сырья к каталитической переработке, с целью уменьшения содержания металлов и коксогенных компонентов, для экономически эффективного использования катализатора и эффективной регенерации [23]. В настоящее время каталитическая гидроочистка является широко используемым методом в процессах облагораживания сырья. Она особенно эффективна для вакуумных газойлей и тяжелых сырьевых фракций с ограниченным содержанием металлов. В будущем сырью не следует

содержать большое количество коксообразователей, чтобы не ограничивать применение обоих процессов. Содержание металлов в сырье не должно превышать ограничения, установленные для обоих процессов, поскольку они могут дезактивировать центры катализатора[30].

Применение комбинированной каталитической переработки с предварительной гидроочисткой сырья крекинга имеет несколько преимуществ [39-41]. Во-первых, это снижает содержание сернистых и азотистых соединений в жидких продуктах и содержание оксидов серы в газах регенерации. Это позволяет избежать дополнительной обработки и снижает выбросы вредных газов в атмосферу. Во-вторых, гидроочистка сырья приводит к частичному гидрокрекингу полициклических ароматических углеводородов и смол, что уменьшает коксообразование в процессе каталитического крекинга и способствует образованию алкилароматических углеводородов с меньшим числом колец. В-третьих, содержание металлов в гидроочищенном сырье значительно снижается, что уменьшает расход катализаторов крекинга. Наконец, при каталитическом крекинге гидроочищенного сырья увеличивается выход целевых более высококачественных продуктов, а также снижается количество газойлей и кокса.

К некоторым недостаткам комбинированной переработки относят увеличение затрат на капитальные и эксплуатационные работы, а также ограничения на возможность переработки сырья с низким содержанием металлов. В отличие от этого, некаталитические процессы подготовки сырья к каталитическому крекингу не ограничивают содержание металлов в сырье, что позволяет использовать остаточные виды сырья. Однако эти процессы характеризуются значительными капитальными и эксплуатационными затратами, что ограничивает их применение в современной нефтепереработке.

Среди промышленных методов некаталитической подготовки остаточных видов сырья для нефтепереработки стоит выделить процессы

сольвентной и термоадсорбционной деасфальтизации и деме­таллизации. Сольвентная деасфальтизация использует в качестве растворителей легкие углеводороды, такие как пропан, бутан, пентан или легкий бензин, и основана на аналогичной технологии пропановой деасфальтизации гудронов, применяемой в производстве смазочных масел. Эти процессы также достигают деме­таллизации, обессмоливания, а также частичного обессеривания и деазотирования [19] тяжелых нефтяных остатков, что значительно упрощает последующую каталитическую переработку. Если применять некаталитические процессы облагораживания ТНО, возможна трехступенчатая переработка остаточного сырья с помощью деасфальтизации гудрона (сольвентной или термоадсорбционной), гидрообессеривания смеси деасфальтизата и вакуумного газойля, а также каталитического крекинга гидрогенизата.

Процесс 3D (дискриминационной деструктивной дистилляции) предназначен для подготовки тяжелых нефтепродуктов, таких как мазуты, гудроны, битуминозные нефти и другие остаточные виды нефти, для их последующей каталитической переработки. Процесс осуществляется путем жесткого термоадсорбционного крекинга в реакционной системе с использованием ультракороткого времени контакта (доли секунды) циркулирующего адсорбента с нагретым диспергированным сырьем. Процесс 3D отличается от процесса АРТ тем, что вместо лифт-реактора используется реактор нового поколения, в котором сырье и адсорбент контактируют на коротком горизонтальном участке трубы перед сепаратором циклонного типа. Результаты эксплуатационных испытаний демонстрационной установки показали, что выход и качество продуктов процесса 3D выше, чем у процесса АРТ [42].

Процесс АКО был разработан ВНИИНП в 1980-1990-х гг. и предназначен для очистки нефтяных остатков с помощью мелкозернистого каолина в лифт-реакторной системе, аналогичной процессу АРТ. Очистка мазута с использованием этого процесса позволяет удалять до 95-98%

тяжелых металлов, до 35-45% серы и до 50-60% азота, а также снижает коксообразование на 75-80% мас [38]. Хотя выходы газа и бензина в процессе АКО невысокие, он обеспечивает высокие выходы газойлевой фракции, которая может быть использована как качественное сырье для каталитического крекинга после предварительной гидроочистки. Адсорбент, используемый в процессе, также позволяет исключить выбросы оксидов серы с газами регенерации. Если переработка негидроочищенного нефтяного сырья осуществляется с применением технологий каталитической переработки высокосернистого сырья крекинга, полученные топливные продукты направляются на стадию гидроочистки.

### **1.7 Методы определения серы в сырье и продуктах каталитического крекинга**

Существуют два класса методов анализа содержания общей серы: химические и физические. Физическими методами можно выделить нейтронно-активационный (НАА), рентгенно-флюоресцентный (РФА) и рентгенно-радиометрический (РРМ). Нейтронно-активационный метод основан на взаимодействии ядер пробы с нейтронами, но его чувствительность не высока - предел обнаружения серы составляет  $5 \cdot 10^{-2}\%$ . Метод РРМ измеряет поглощение рентгеновских лучей при известной зависимости поглощения от концентрации анализируемого вещества. Однако его массовая доля серы должна быть не менее 0,5%, и результаты могут быть завышенными при более низком содержании серы. Наиболее точные результаты метод РРМ дает при массовой доле серы в анализируемом нефтепродукте 0,5-2,0%, а предел обнаружения составляет  $1 \cdot 10^{-2}\%$ . Оба метода имеют общий недостаток - радиационную опасность, поэтому при их использовании необходимо применять специальное оборудование в лабораторных помещениях. В то же время, метод РРМ более удобен, так как его аппаратное оформление проще и его можно применять для

определения содержания серы в потоке на нефтепроводах и для экспресс-анализа фракции при перегонке нефти [20].

Метод РФА - это один из вариантов физического анализа, основанного на измерении потока квантов рентгеновской флюоресценции, энергия которых определяет элемент, а интенсивность связана с его содержанием. Преимуществами метода РФА являются простой и компактный прибор, который может использоваться для анализа твердых и жидких проб, а также относительно низкий предел обнаружения серы -  $5 \cdot 10^{-3}\%$ . Минимальное время анализа составляет 1 минуту, а с учетом подготовки пробы - около 20-25 минут. Единственным недостатком метода РФА является необходимость проведения анализа в вакууме.

С другой стороны, химические методы анализа общей серы - наиболее распространенные и стандартизованные. Они основаны на окислении всех серосодержащих соединений анализируемой нефти в оксиды серы, с последующим их поглощением и анализом. Окислительные методы имеют высокую точность и относительно просты в использовании, поскольку для проведения анализа не требуется специального оборудования. В качестве окислителя используются воздух, кислород, диоксид марганца. Для проведения анализа необходимо сжечь навеску нефти или нефтепродукта в приборах различной конструкции (лампочке, калориметрической бомбе, кварцевой трубке, тигле, диоксановой тарелке, колбе), а затем произвести поглощение продуктов сгорания и анализ.

### **1.7.1. Определение содержания сернистых соединений качественным методом по ГОСТ 32329-2013**

Качественным методом или пробой на медную пластинку устанавливается присутствие свободной серы и активных сернистых соединений в карбюраторных, реактивных и дизельных топливах. При повышенных температурах ( $50^{\circ}\text{C}$ ,  $100^{\circ}\text{C}$ ) метод является очень

чувствительным на присутствие элементарной серы (в бензине до 0,00001% масс.) и сероводорода. Менее чувствительна пластинка к воздействию меркаптанов [43].

Для проведения испытаний используются пластинки из электролитной меди размером 40x10x2 мм с гладкой поверхностью, которые предварительно промываются спиртом, высушиваются и погружаются в исследуемое топливо в пробирке диаметром 15-20 мм и высотой 140-150 мм с закрытой корковой пробкой. Пробирка помещается в вертикальное положение в водяную баню, нагретую до 100 °С при испытании реактивных топлив и до 50 °С при испытании других видов топлива, при этом уровень воды в бане должен быть выше уровня топлива в пробирке не менее чем на 30 мм. После трех часов пластинки извлекают пинцетом, промывают спиртотолуольной смесью в фарфоровой чашке и просушивают фильтровальной бумагой. Для каждого образца топлива проводят два параллельных испытания.

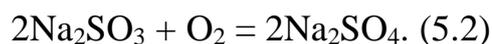
Если в ходе опыта на медную пластинку в хотя бы одной из двух параллельных проб нанесется налет или появятся пятна черного, темно-коричневого или серо-стального цвета, то такое топливо считается не прошедшим испытание. Во всех других случаях, если нет изменения цвета пластинки, топливо считается прошедшим испытание.

Свободную серу в нефтепродуктах можно также обнаружить с помощью реакции с кетоспиртами или действием щелочи на пиридиновый раствор анализируемой пробы. Анализ свободной серы может быть основан на множестве других реакций, так как сера активно взаимодействует практически со всеми элементами, кроме инертных газов, йода, золота и платины.

Качественными пробами на присутствие сероводорода являются также его реакции с NaOH, карбонатом натрия, сульфатом или хлоридом кадмия. В аналитической химии серосодержащих соединений известны качественные реакции на тиолы, дисульфиды, сульфиды и тиофены [43].

## 1.7.2 Определение общего содержания серы ламповым методом по ГОСТ 32403-2013

Для определения суммарного содержания серы в светлых нефтепродуктах, таких как бензин, керосин и дизельное топливо, применяется ламповый метод. Он основан на сжигании навески образца нефтепродукта в специальной стеклянной лампочке и поглощении образовавшихся выхлопных газов водным раствором углекислого натрия (соды) по следующим реакциям [44]:



Для определения количества серы используется титрование избытка 0,05 натриевой соды с 0,05 соляной кислотой. Для этого применяется прибор, схема которого изображена на рисунке 1.1. Сначала в большой резервуар абсорбера 1 помещают стеклянные палочки, вымытые дистиллированной водой до 1/3 его высоты, затем в резервуар добавляют 10 мл водного раствора углекислого натрия и 10 мл дистиллированной воды с помощью пипетки. После этого прибор собирают, присоединяя брызгоуловитель 2 к большому резервуару абсорбера 1 и подключая ее к вакууматической аппаратуре. К малому резервуару 1 прибора подсоединяют ламповое стекло 3. Для проведения контрольного опыта прибор также подготавливают одновременно.

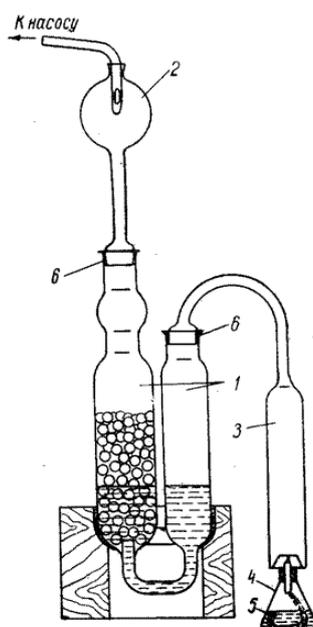


Рисунок 1.1 – Прибор для определения серы ламповым методом:

- 1 – абсорбер, 2 – брызгоуловитель, 3 – ламповое стекло, 4, 5 – лампочка и фонарь, 6 – шлиф

Для выполнения эксперимента нужно отобрать около 4-5 мл контрольного и испытуемого продуктов (этиловый спирт, бессернистый бензин) в лампочки 4 и закрыть их пробками с фитильной трубкой. Нижний конец фитиля должен оканчиваться по окружности дна лампочки. После пропитки продуктом, наружный конец фитиля срезают до уровня края трубочки, затем лампочки взвешивают. Колпачки снимают и лампочки подставляют под ламповые стекла, зажигая их от пламени спиртовки. Расстояние между краем фитильных трубок и нижним краем лампового стекла не должно превышать 8 мм. Высота пламени устанавливается на уровне 6-8 мм и регулируется путем увеличения или уменьшения фитиля с помощью иглы. Для обеспечения равномерного просасывания воздуха через все абсорберы включается вакуумный насос, а затем навески каждой лампочки сжигают в течение 30 минут. После этого лампочки гасят и накрывают колпачками, а через 3-5 минут выключают вакуумный насос. Массу сгоревшей навески определяют по разнице весов лампочек до и после сгорания.

Сначала добавляют метиловый-оранжевый раствор в колбы, после чего проводят титрование раствором соляной кислоты (0,05 н) до появления розовой окраски. Первым титруется контрольный раствор. Далее, для определения содержания серы (X) в испытуемом нефтепродукте в процентах по массе, применяют соответствующую формулу.

$$X = (Y_0 - V_1) \cdot K \cdot 0,008 \cdot 100 / m, \quad (5.3)$$

где  $V_0, V_1$  - количество раствора соляной кислоты, пошедшего на титрование соответственно контрольного раствора, и раствора после поглощения продуктов сгорания испытуемого нефтепродукта, мл;

$K$  - поправочный коэффициент к титру 0,05н соляной кислоты ( $K=1$ );

0,008 - масса серы, эквивалентная 1 мл 0,05н раствора соляной кислоты, г ;

$m$  - масса сгоревшего испытуемого нефтепродукта, г.

Результатом анализа является среднее арифметическое двух параллельных определений, расхождение между которыми не должно превышать 5% от величины меньшего результата [44].

### **1.7.3 Определение общего содержания серы ускоренным методом по ГОСТ 1437-75**

Описываемый метод заключается в измерении содержания серы в маслах, нефти, коксе и углях. Он основывается на сжигании навески образца в чистом воздухе с последующим улавливанием сернистого и серного ангидрида раствором йода, при этом в качестве индикатора используется крахмал [45].



Перед анализом собирают установку для определения содержания серы по рисунку 1.2.

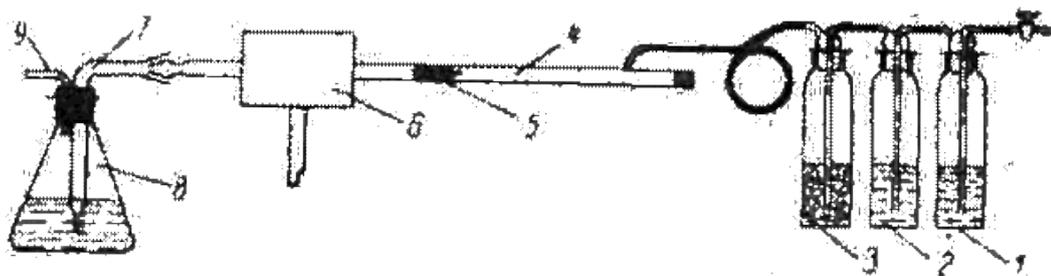


Рисунок 1.2 – Прибор для определения серы ускоренным методом [45].

1 — промывная склянка с раствором  $\text{KMnO}_4$ ; 2 — то же с 40%-ным раствором  $\text{NaOH}$ ; 3 — то же с ватой; 4 — кварцевая трубка; 5 — лодочка для навески; 6—электродпечь; 7 — соединительное кварцевое колено; 8 — абсорбер; 9 — трубка к вакуум-насосу.

Для проведения эксперимента измельченную и прокаленную шамотную глину (кварцевый песок) аккуратно помещают в лодочку, которую затем вставляют в кварцевую трубку перед входом в печь. Отверстие трубки быстро закрывают пробкой, после чего включают вакуум-насос, регулируя скорость просасывания воздуха через систему (около 5 л/мин). Когда печь нагревается до 900-9500С, начинают сжигание, постепенно приближая печь к лодочке, чтобы нефтепродукт не загорелся. Для полного сгорания навески нефти (нефтепродукта) необходимо не менее 30-40 минут. Далее трубку с лодочкой помещают в центральную, наиболее раскаленную часть печи и прокаливают в течение 15 минут до тех пор, пока окраска раствора с йодом не перестанет изменяться. Во время эксперимента добавляют раствор йода до первоначального синего окрашивания. По окончании сжигания навески подачу воздуха в печь прекращают. Обязательно проводят контрольный опыт без навески испытуемого вещества.

Массовую долю серы  $S, \%$  рассчитывают по формуле [45]:

$$S = [0,00016 \cdot (V_1 - V_0) / m_1] \cdot 100 \quad (5.5)$$

где 0,00016 - количество серы соответствующее 1 мл 0,01н раствора йода, г;

$V_1$  - количество 0,01н водного раствора йода, пошедшего на титрование в целевом опыте, мл;

$V_0$  - количество водного раствора йода, пошедшего на титрование в контрольном опыте, мл;

$m_1$  - масса навески анализируемого продукта, г.

Далее в ходе разработки реакционной схемы процесса будут изучены реакции каталитического крекинга сернистых соединений, при этом важнейшим этапом моделирования является разработка и адаптация моделей к действующим промышленным объектам.

## 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Характеристика объекта исследования

Объектом исследования является промышленный процесс каталитического крекинга нефтяного сырья. Проектная производительность установки составляет 1868 тыс. тонн/год по сырью. На рисунке 2.1 представлена принципиальная технологическая схема установки каталитического крекинга гидроочищенного вакуумного газойля.

Процесс каталитического крекинга гидроочищенного сырья приводит к получению жирного газа и нестабильного бензина, которые используются в дальнейшей переработке для получения пропан-пропиленовой фракции, бутан-бутиленовой фракции, сухого углеводородного газа или высокооктанового компонента автобензина с температурой кипения ниже 205°C. В результате также получается легкий каталитический газойль с температурным диапазоном фракции от 195°C до 340°C, который может использоваться в качестве компонента дизельного топлива или товарного печного топлива. Наконец, остаточный шлам с температурой выше 340°C используется в качестве компонента котельного топлива и направляется в лифт-реактор для обеспечения теплового баланса реактора и регенератора

Сырье установки каталитического крекинга содержит смесь парафинов, нафтенов, алкилароматических и смолистых компонентов. Шлам подают в лифт-реактор из ректификационной колонны для стабилизации коксообразования в регенераторе. С рециркулятом (вторичным сырьем крекинга) в процесс каталитического крекинга возвращается смесь со значительным содержанием ароматических соединений. Регенерированный катализатор поступает в зону смешения сырья и катализатора. В улавливающее устройство лифт-реактора подается пар для поддержания восходящего потока газа-катализатора, а также на распыл исходного сырья и шлама.

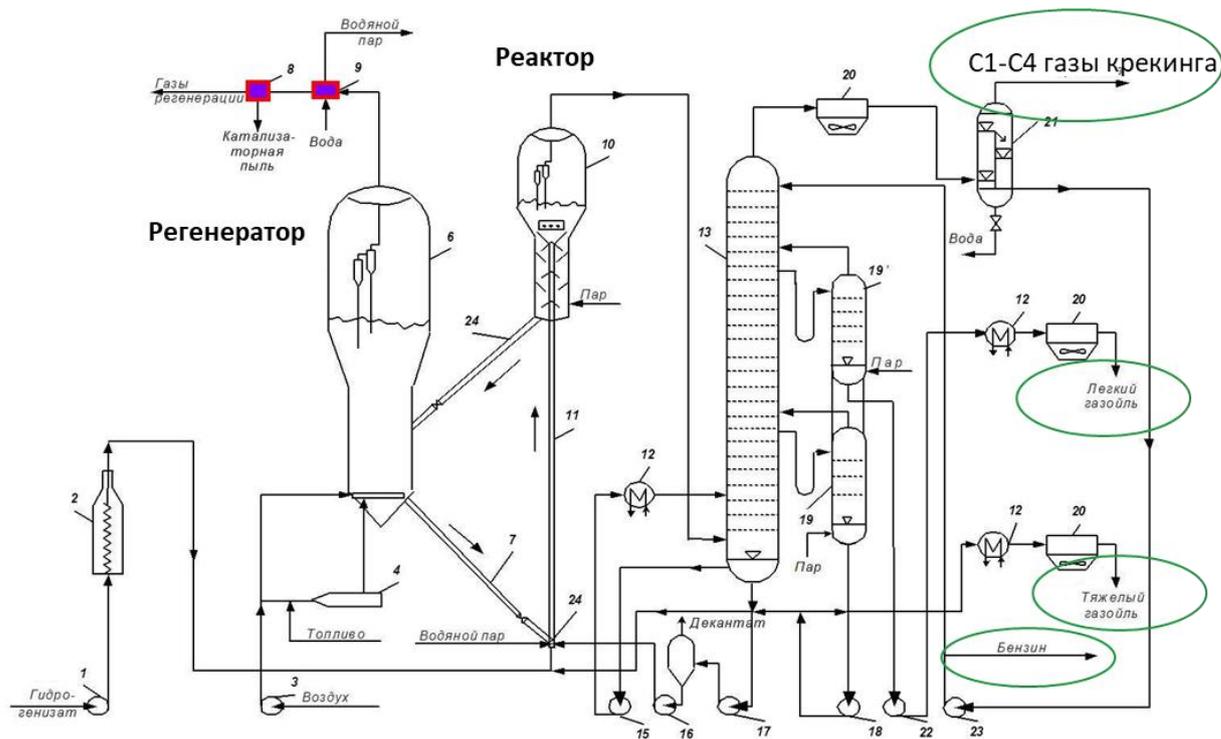


Рисунок 2.1 – Принципиальная технологическая схема установки каталитического крекинга гидроочищенного вакуумного газойля

Соотношение выходов бензина и кокса является одним из лучших показателей интенсивности побочных реакций в процессе каталитического крекинга. Высокое соотношение обычно свидетельствует о преобладании желательных реакций, при условии сохранения высокого октанового числа бензина. С другой стороны, низкое соотношение говорит о более интенсивном протекании побочных реакций.

## 2.2 Методы исследования

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были использованы следующие методы лабораторного анализа:

1. ГОСТ Р 51947-2002 «Нефть и нефтепродукты. Определение серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии» для определения массовой доли серы в сырье и продуктах процесса каталитического крекинга (анализатор серы «СПЕКТРОСКАН SL» (рабочий

диапазон концентраций серы 0,0007–5,0 %, нижний предел обнаружения серы 0,0005 %));

2. метод жидкостно-адсорбционной хроматографии с градиентным вытеснением и детектированием по теплопроводности для исследования состава фракций, выкипающих более 350 °С, а именно сырья процесса каталитического крекинга и тяжелого газойля;

3. метод газожидкостной хроматографии для анализа сернистых соединений сырья и продуктов процесса каталитического крекинга с использованием хроматографа «Кристалл-2000М»;

4. метод определения плотности на пикнометре согласно ГОСТ 3900-85 и кинематическая вязкость по ГОСТ 33-2016;

5. определение молекулярной массы на приборе КРИОН-1;

6. определение показателя преломления на рефрактометре Аббе NAR-3T;

Ниже дана более подробная характеристика указанных методов.

### **2.2.1 Градиентная хроматография**

Сущность метода заключается в разделении высококипящих нефтепродуктов на 7 групп с последующим детектированием по теплопроводности.

Используя хроматограф "ГРАДИЕНТ-М" выполнен хроматографический анализ сырья каталитического крекинга для определения группового компонентного состава тяжелых нефтяных фракций. Для этого требуется не более 2 мг высококипящего сырья, время анализа занимает от 40 до 60 минут. Хроматограф оснащен программным обеспечением, которое автоматически обрабатывает хроматограммы и рассчитывает компонентный состав в массовых процентах. Это позволяет хранить данные в памяти компьютера и распечатывать их по мере необходимости. Определение группового состава сырья необходимо для

прогнозирования свойств продуктов процесса, оптимизации процесса и контроля работы установки в реальном времени. Групповой состав помогает определить наличие компонентов, способствующих коксообразованию, который происходит в ходе реакций крекинга.

### **2.2.2 Газовая хроматография**

Газовый хроматограф "Кристалл-2000М" использован для анализа сложных многокомпонентных смесей, работа которого основана на общих принципах хроматографии, которая предусматривает разделение элементов смеси с учетом подвижной и неподвижной фазы. В газовой хроматографии в качестве подвижной фазы используются газы, такие как гелий, водород или азот, а неподвижной фазой могут быть, как твердые вещества (в газоадсорбционной хроматографии), так и жидкости (в газожидкостной хроматографии).

В случае газожидкостной хроматографии колонки заполняются неподвижной фазой, где происходит разделение вещества на компоненты, за счет различной растворимости компонентов в смеси в пленке неподвижной фазы. Детекторы помогают определить количественные и качественные свойства анализируемых веществ. Для проведения анализа с помощью газового хроматографа "Кристалл-2000М" использована капиллярная колонка с нанесенной неподвижной фазой CR-5 толщиной 2,5 мкм и длиной 30 мм с внутренним диаметром 0,25 мм. Температурный режим анализа был произведен с линейным повышением от 50 до 290°C при скорости нагрева колонки в 4 градуса в минуту.

### **2.2.3 Определение содержания серы**

Анализатор рентгеновский энергодисперсионный СПЕКТРОСКАН S предназначен для измерения массовой доли серы в нефти и нефтепродуктах,

таких как: дизельное топливо, бензин, керосин, смазочные масла, мазут, гидравлические масла, реактивное топливо и любые дистиллятные нефтепродукты. Измерения на СПЕКТРОСКАН S проводились согласно требованиям стандарта ГОСТ 51947-2002 «Нефть и нефтепродукты. Определение серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии».

#### **2.2.4 Определение молекулярной массы**

Для определения молекулярной массы вещества методом криоскопии использована установка КРИОН 1, предназначенная для измерения молекулярной массы нефтей в бензоле. В качестве растворителя использован бензол, предварительно осушенный с помощью  $\text{CaCl}_2$ . В методе криоскопии температура переохлаждения определяется как температура, при которой растворитель кристаллизуется. Измерение температуры кристаллизации растворителя/раствора вещества происходит при температуре на 3 °С ниже этой температуры переохлаждения.

Процесс автоматического измерения температуры кристаллизации разбит на три этапа: подготовка, переохлаждение и кристаллизация. В начале установка ожидает охлаждения образца до +15 °С. Затем, происходит переохлаждение образца до требуемой температуры, при которой начинается перемешивание, стимулирующее процесс кристаллизации. После этого температура повышается, выходит на плато, а затем начинает снижаться. Измерение завершается в течение определенного времени после начала снижения температуры при разнице температур, находящейся в пределах 0,3-0,8 °С. Для достижения такой разницы температур изменяется масса взятой пробы, которая пропорциональна разнице температур между исследуемой пробой и растворителем, в данном случае бензолом.

#### **2.2.4 Определение плотности**

Согласно ГОСТ 3900-85 (с 01.01.2022 3900-2022), исследование плотности проводится двумя методами: пикнометрическим и с использованием ареометра. Выбранный нами пикнометрический метод подразумевает измерение водного числа пикнометра и массы пробы при одной и той же температуре. В условиях производственных установок используют температуры 20 °С и 100 °С для лёгких и тяжёлых фракций соответственно.

#### **2.2.5 Определение вязкости**

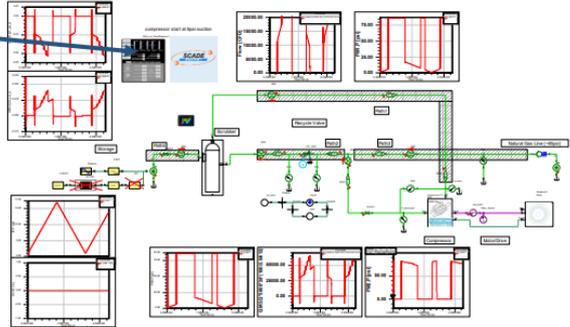
Измерение вязкости проводилось в соответствии с ГОСТ 33-2016. Метод основан скорости истечения жидкого нефтепродукта через капилляр вискозиметра под влиянием силы тяжести при определенной температуре. Кинематическая вязкость вычисляется как произведение измеренного времени истечения нефтепродукта и постоянной вискозиметра. Динамическая вязкость вычисляется как произведение кинематической вязкости и плотности нефтепродукта при одной и той же температуре.

## 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

### 4.1 Описание продукта

Продукт описывается исходя из целей предприятия, её ресурсов и сравнения с продукцией конкурентов (таблица 4.1).

Таблица 4.1 - Основные сведения о продукции

Наименование продукции	Цифровые модели производств
Рисунок/ фото	
Назначение	На основании входных данных производить физико-математический расчет
Область применения	Научно-исследовательская деятельность, образование, нефте- и газопереработка,
Тип	ПО
Язык	C++, Python, Java
Технология	Использовании последних разработок в сфере цифрового обслуживания
Качество	Высокая производительность

## 4.2 Анализ конкурентных решений

### 4.2.1 SWOT-анализ

Чтобы было проще определить все внешние факторы, был проведён SWOT-анализ (рисунок 4.1).

	<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработка новых технологий</li> <li>2. Развитие рынка</li> <li>3. Рост потребности потребителей во внедрении цифровых технологий в производство</li> <li>4. Быстрорастущий онлайн-рынок сервисных инструментов и услуг</li> </ol>	<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вход на рынок нового производителя</li> <li>2. Снижение уровня жизни населения</li> <li>3. Рост тарифов на электроэнергию, элементы ЭВМ</li> </ol>
<p>Сильные стороны:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Руководители и среднее звено – компетентные, молодые люди, энергичные, амбициозные</li> <li>2. Низкие энергозатраты</li> <li>3. Возможность производить работы дистанционно</li> <li>4. Наличие современного оборудования</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение объемов информационной «накачки» для узнаваемости бренда и перехватить клиентов конкурентов, которые закрывают бизнес</li> <li>• Сделать скорость обслуживания своей «фишкой», оптимизировать процессы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Акции для привлечения и удержания клиентов, разработка бонусной программы</li> <li>• «Мозговой штурм» (участвует весь персонал) по созданию ценностей для клиента и формулировке миссии компании</li> </ul>
<p>Слабые стороны:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Специфичность продукта</li> <li>2. Узкий круг потребителей</li> <li>3. Сложность в использовании продукта (необходимость в получении соответствующих компетенций)</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обоснованно поднять цену, увеличив рентабельность</li> <li>• Разработка и внедрение маркетингового плана, создание, защита и освоение бюджета на продвижение бренда в регионах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Создание упрощенных моделей с более низкими требованиями к ПК</li> <li>• Промо-акции в регионах</li> </ul>

Рисунок 4.1 – SWOT-анализ внешней среды предприятия

## 4.2.2 Анализ конкуренции

Анализ конкурентов является необходимой частью оценки внешней среды предприятия при бизнес-планировании. Знание их сильных и слабых сторон дает возможность бизнесмену правильно выстроить экономическую политику предприятия, что позволит не только не нести убытков, но и получать прибыль.

Проведя исследования интернет-рынка, было определены основные прямые конкуренты. Прямые конкуренты представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Основные прямые конкуренты

Фирма	Описание	Сильные стороны	Слабые стороны
RRT Global	Компания разрабатывает процессы нефтехимии и нефтепереработки, цифровые решения для существующих производств, осуществляет каталитические исследования в собственном R&D центре	<ul style="list-style-type: none"> <li>Наличие долгосрочных договоров с потребителями</li> <li>Развитый маркетинговый план – известность за пределами страны производителя</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Работа только в промышленных масштабах</li> <li>Стоимость продукта привязана к иностранной валюте (устройства иностранного производителя)</li> </ul>
CADFEM Digital	«КАДФЕМ Диджитал – это подразделение АО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс» (КАДФЕМ), крупнейшего на российском рынке дистрибьютора систем инженерного анализа, а также центра компетенции и элитного партнера компании ANSYS, Inc. КАДФЕМ Диджитал занимается внедрением передовых технологий Индустрии 4.0 на промышленном уровне.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Широкий спектр услуг</li> <li>Наличие бренда</li> <li>Работа с последними технологиями</li> </ul>	Отсутствие компетенций в области нефтехимии

Потенциальными конкурентами являются отечественные развивающиеся IT- компании. Примерами могут быть: Luxoft – разработка

программного обеспечения; ЛАНИТ - Многопрофильная группа ИТ-компаний; Andersen - Разработка ПО; EVEN Lab - Разработка программного обеспечения.

На данный момент, перечисленные выше компании не занимаются разработкой конкурирующего нам продукта, но их материальные и нематериальные ресурсы позволяют его произвести.

Косвенную конкуренцию нам составляют научно-исследовательские институты, специализирующиеся на нефтехимии.

Исходя из полученной о конкурентах информации, можно рассмотреть меры по созданию системы защиты от возможных рисков и угроз:

- установление главным критерием подбора сотрудников наличие компетенций в области нефтехимии и химической технологии в сфере добычи и переработки нефти и газа;
- расширение сферы услуг: образовательные услуги в сфере математического моделирования технологических установок; работа не только с масштабными проектами, но и лабораторными установками; привлечение в штат молодых специалистов.
- разработка маркетингового плана, учитывающего преимущество нашей компании над конкурирующими.

### **4.3 Потенциальные потребители**

Маркетинговый план состоит такие процессы, как анализ рыночной ситуации, программы действий, бюджеты, прогнозы продаж, стратегии и прогнозируемые финансовые отчеты.

### 4.3.1 Сегментация рынка

Сегментация рынка — это разделение всего рынка компании на более мелкие части (сегменты) [3].

В данной работе была проведена сегментация рынка на основании масштаба (объема производства) предприятий. При оценке сегментов рынка учитываются два фактора:

- 1) общая их привлекательность;
- 2) цели и ресурсы осваивающей его компании.

Разделение, анализ и оценка сегментов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. – Сегментация рынка

Сегмент	Характеристика сегмента
Крупные предприятия	
НПЗ (ЮКОС, Газпром нефть, ТНК-ВР и др)	На крупных НПЗ имеются благоприятные предпосылки для сооружения мощных высокоавтоматизированных технологических установок и комбинированных производств. Объем первичной переработки составляет более 15 млн тонн в год.
Добывающие компании (Роснефть, Лйкойл, Башнефть и др.)	Объем добычи нефти и газоконденсата более 15 млн тонн в год.
Предприятия средней мощности	
Комбинат (ТНХК, ИНК, АНК и др.)	Представляют из себя объединение мелких производств, дочерние предприятия и др. Объем выпуска готовой продукции не менее 140 тыс. тонн в год. [1]
Молодые компании (ИНК, НОВАТЭК, Стрижевой и др.)	Объем добычи и переработки менее 10 млн тонн в год.
Научно-исследовательские центры	
Государственные образовательные организации (НИИ ТПУ, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, РХТУ им. Д.И. Менделеева и др.)	Не производят добычу и переработки нефти и газа. Используют математические модели в образовательных целях.

### 4.3.1 Выбор целевых сегментов рынка

Целевой рынок – это наиболее выгодный для предприятия сегмент или группа сегментов, на которые направлена его деятельность.

Так как мы выбрали и проанализировали несколько сегментов рынка, мы можем выбрать один из трех вариантов стратегии охвата рынка.

Мы выбрали два сегмента рынка, соответственно, нам подходит стратегия дифференцированного маркетинга.

Для каждого сегмента рынка необходимо разработать комплекс маркетинга «4P» (Таблица 4.3.).

Таблица 4.3. – Комплекс маркетинга «4P».

№ п/п	Комплекс маркетинга «4P»	Содержание разделов	
		Предприятия средней мощности	Научно-исследовательские центры
1.	Товар	<ul style="list-style-type: none"> <li>– крупномасштабные проекты;</li> <li>– небольшое количество;</li> <li>– послепродажное обслуживание (разовые платные услуги);</li> <li>– представляет из себя ПО;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- небольшие программы;</li> <li>- без послепродажного обслуживания;</li> </ul>
2.	Цена	<ul style="list-style-type: none"> <li>– разработка проектов и оценка их стоимости для каждого предприятия индивидуально;</li> <li>– разработка системы скидок на сервисное обслуживание;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– разработка десяти типовых проектов моделирования установок по фиксированным ценам;</li> </ul>
<b>3. Методы продвижения товара</b>			
3.1.	Личные продажи	Личная работа специалиста-маркетолога с потенциальным потребителем.	
3.2.	Паблицити	– проведение презентаций, симпозиумов, пресс-конференций; публичные выступления;	
4.	Распределение	- выбор канала сбыта - аренда веб-сайта для приёма заявок, контакты;	

## 4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию

### 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;

- построение графика проведения научных исследований.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Назарова Г.Ю., доцент ОХИ ИШПР, к.т.н.
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Безруких П.Д., бакалавр ОХИ ИШПР
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Безруких П.Д., бакалавр ОХИ ИШП
	4	Календарное планирование работ	Назарова Г.Ю., доцент ОХИ ИШПР, Безруких П.Д., бакалавр ОХИ ИШПР
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение экспериментальной части	Назарова Г.Ю., доцент ОХИ ИШПР, Безруких П.Д., бакалавр ОХИ ИШПР
	6	Разработка методики	Назарова Г.Ю., доцент ОХИ ИШПР, Безруких П.Д., бакалавр ОХИ ИШПР
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Безруких П.Д., бакалавр ОХИ ИШПР
Оформление отчета по НИР	8	Составление пояснительной записки	Безруких П.Д., бакалавр ОХИ ИШПР

В ходе реализации научного проекта, помимо бакалавра, задействован также научный руководитель и аспирант проекта, которые отвечают за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность бакалавра. Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в Таблице 4.4.

#### 4.4.2 Оценка трудоемкости

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, который зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $\square_{ож}$  используется следующая формула:

$$\square_{ож} = \frac{3\square_{min} + 2\square_{max}}{5}, \quad (4.1)$$

где  $\square_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$\square_{min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$\square_{max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $\square_{\square}$ , учитывающая параллельность выполнения работ по нескольким исполнителями.

$$\square_{\square} = \frac{\square_{ож}}{Ч}, \quad (4.2)$$

где  $\square_{\square}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$\square_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Расчет продолжительности работ в рабочих днях:

$$\square_{\square} = \frac{299}{1} = 299$$

#### 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Расчет продолжительности работ в рабочих днях:

Наиболее удобным и наглядным представлением проведения научных работ является построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построение графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

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

где  $\square_{\square\square}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$\square_{\square\square}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$\square_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$\square_{\text{кал}} = \frac{\square_{\text{кал}}}{\square_{\text{кал}} - (\square_{\text{вых}} + \square_{\text{пр}})}, \quad (4.5)$$

где  $\square_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$\square_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$\square_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - (52 + 14)} = 1,22$$

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план выполнения работ. Для построения таблицы временных показателей проведения НИ был рассчитан коэффициент календарности. С помощью показателей в Таблице А.1 (Приложение) был разработан календарный план-график проведения НИ по теме. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, указывающая на целесообразность проведения данного исследования.

Таблица 4.5 – Календарный план-график проведения научного исследования

№	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль		март			апрель			май				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1													
2	Составление и утверждение плана работ	НР	2													
3	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	4													
4	Выбор направления исследования	Ст, НР	1													
5	Календарное планирование работ	Ст, НР	1													
6	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	15													
7	Проведение экспериментальной части работы	Ст, НР	8													
8	Разработка методики	Ст	9													
9	Оценка эффективности полученных результатов	Ст	7													
10	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	7													
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Ст	2													
12	Оформление ВКР	Ст	8													

 – научный руководитель;  – студент.

## 4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

1. Материальные затраты.
2. Затраты на спец. оборудование
3. Основная и дополнительная ЗП.
4. Социальные отчисления.
4. Прямые затраты.
5. Накладные расходы.

### 4.5.1 Расчет материальных затрат НИ

При планировании бюджета научно-техническое исследование должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i} \quad (4.6)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м,  $m^2$  и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ $m^2$  и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 4.8 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (ЗМ), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
Спирт этиловый	л	2	5	3	350	700	1750	1050
Селикагель	кг	2	1	1	4000	8000	4000	4000
Термометр	шт	2	3	2	1500	3000	4500	3000
Пипетки, градуированные на 1 см <sup>3</sup>	шт	5	6	5	50	250	300	250
Цилиндры мерные на 100 см <sup>3</sup>	шт	2	3	3	250	500	750	750
Пикнометр	шт	2	4	4	250	500	1000	1000
Колонка	шт	1	1	1	1900	1 900	1 900	1 900
Холодильник	шт	1	1	1	1900	1 900	1 900	1 900
Электроэнергия	кВт*ч	380	420	397	4,3	1634	1806	1707
Всего за материалы, руб.						18384	17906	15557
Транспортно-заготовительные расходы (15 %)						2757,6	2685,9	2333,55
Итого, руб.						21141,6	20591,9	17890,6

Таблица 4.9 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., тыс. руб.	Затраты на материалы, (ЗМ), тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Хроматограф	шт.	1	1	1	4 060	4 060	4 060	4 060
Крион -1	шт.	1	1	1	213	213	213	213

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., тыс. руб.	Затраты на материалы, (ЗМ), тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Спектроскан	шт.	1	1	1	53	53	53	53
Рефрактометр	шт.	1	1	1	118	118	118	118
Термостат	шт.	1	1	1	55	55	55	55
Программное обеспечение (Microsoft Office 2021 Pro)	шт.	1	1	1	6	6	6	6
Ноутбук Honor Magic	шт.	1	-	-	72	72	-	-
Системный блок Dell Vostro	шт.	-	1	1	30	-	30	30
Монитор ASUS VZ249H	шт.	-	1	1	15	-	15	15
Компьютерная мышь Lenovo 500 Silver	шт.	1	1	1	1	1	1	1
Клавиатура Defender Oscar SM-660L	шт.	-	1	1	2	-	2	2
Итого:						4 578	4 553	4 553

#### 4.5.2 Основная заработная плата исполнителя

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приводится в Таблице 4.11.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату и рассчитывается по формуле:

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

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12–20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

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

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:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{\square_{\delta}} \quad (4.9)$$

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.

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p \quad (4.10)$$

где  $Z_{tc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 процентов от  $Z_{tc}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Расчет основной заработной платы представлен в Таблице 4.13.

Таблица 4.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни	52-8	52-4
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	56	28
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	275

Таблица 4.12 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1	1	1	4			4	4	4
2.	Составление и утверждение плана работ	НР	1	1	2	2			2	2	4
3.	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	2	2	3	2			4	4	6
4.	Выбор направления исследования	Ст, НР	2	2	2	4			8	8	8
5.	Календарное планирование работ	Ст, НР	2	3	3	4			8	12	12
6.	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	13	12	18	2			25	24	36
7.	Проведение экспериментальной части работы	Ст, НР	13	14	15	4			52	56	60
8.	Разработка методики	Ст	10	10	8	2			20	20	16
9.	Оценка эффективности полученных результатов	Ст	4	4	5	2			8	8	10
10.	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	5	7	6	2			10	14	12
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Ст	3	1	2	2			6	2	4
12	Оформление ВКР	Ст	5	6	7	2			10	12	14
Итого									157	166	186

Таблица 4.13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Должность	Оклад, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{р}$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Научный руководитель	Доцент	39 300	0,3	0,3	1,3	81 744	3 499	21	73 479
Студент	Инженер	16 100*	0,3	0,3	1,3	33 488	1 304	56	73 024
Итого, руб									146 503

\*согласно договору о выплатах с гранта

#### 4.5.4 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле:

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

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

Таблица 4.14 – Расчет заработной платы

Исполнитель	$Z_{осн}$ , руб	$Z_{доп}$ , руб	$Z_{зп}$ , руб
Научный руководитель	73 479	11 022	84 501
Студент	73 024	10 594	83 618
Итого, руб			168 118

#### 4.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (4.12)$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot 168\,118 = 50\,435 \text{ руб.}$$

#### 4.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{нр} \quad (4.13)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы для исполнения 1 составили:

$$Z_{накл} = (21\,141 + 4\,578\,000 + 273\,054 + 50\,435) \cdot 0,16 = 4\,922\,630 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 2 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (20\,591 + 4\,553\,000 + 273\,054 + 50\,435) \cdot 0,16 = 4\,897\,080 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 3 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (17\,890 + 4\,553\,000 + 273\,054 + 50\,435) \cdot 0,16 = 4\,894\,379 \text{ руб.}$$

#### 4.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НИИ	15 368	22 127	16 596	Пункт 5.5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	738 000	713 000	713 000	Пункт 5.5.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	146 503			Пункт 5.5.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21 616			Пункт 5.5.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	81 916			Пункт 5.5.5
6. Затраты на научные и производственные	-	-	-	Отсутствуют

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
командировки				
7. Контрагентские расходы	-	-	-	Отсутствуют
8. Накладные расходы	4 922 630	4 897 080	4 894 379	Пункт 5.5.6
9. Бюджет затрат НТИ	5 926 033	5 882 242	5 874 010	Отсутствуют

#### 4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической 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.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$\square_{фин.р}^{исп.і} = \frac{\Phi_{ііі}}{\Phi_{іііі}} \quad (4.14)$$

где  $\square_{фин.р}^{исп.і}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{рі}$  – стоимость і-го варианта исполнения;

$\Phi_{іііі}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$\square_{фин.р}^{исп1} = \frac{1\,310\,797}{1\,323\,861} = 0,99;$$

$$\square_{фин.р}^{исп2} = \frac{1\,291\,077}{1\,323\,861} = 0,98;$$

$$\square_{фин.р}^{исп3} = \frac{1\,323\,861}{1\,323\,861} = 1$$

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

$$\square_{\square\square} = \sum_{\square=1}^{\square} \square_{\square} \times \square_{\square} \quad (4.15)$$

где  $\square_{p\square}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $\square$ -го варианта исполнения разработки;

$\square_{\square}$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$\square_{\square}^{\square}, \square_{\square}^{\square}$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$\square$  – число параметров сравнения.

Таблица 4.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Сумма затрат на закупку оборудования	0,3	5	3	4
Техническое оснащение	0,4	5	4	4
Уровень заработной платы	0,3	4	4	5
	1	4,6	3,6	4,3

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $\square_{исп\square}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$\square_{исп1} = \frac{\square_{p-исп1}}{\square_{фин,p}} = \frac{4,6}{0,99} = 4,64 \text{ и т.д.}$$

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

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{\square_{исп2}}{\square_{исп1}} \quad (4.16)$$

Таблица 4.16 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	0,98	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,6	4,3

3	Интегральный показатель эффективности	4,64	3,67	4,30
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,79	0,92

Сравнив значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

#### **Вывод по главе 4**

В данной главе ВКР были рассмотрены различные аспекты проведения научной работы: финансовое состояние, анализ конкурентов и потребителей, эффективность использования ресурсов и др. В результате проведенного анализа была сделана оценка текущей работы, выявлены проблемы и предложены соответствующие меры для их решения.

Эффективность использования ресурсов является одним из важнейших элементов данной главы. В результате проведенного анализа были выявлены основные направления улучшения эффективности использования ресурсов организации. В частности, были предложены меры по оптимизации сокращению затрат на ресурсы и повышению эффективности использования имеющихся ресурсов.

Таким образом, была выведена комплексную оценку научной деятельности, и предложены рекомендации для ее улучшения.

## 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Для создания математической модели, способной прогнозировать содержание серосодержащих соединений, необходима информация о химии соединений серы в условиях крекинга и распределении основных сернистых соединений в сырье каталитического крекинга – гидроочищенном и негидроочищенном вакуумном газойле.

Актуальность темы исследования обусловлена вопросами решения требуемых производственных задач (прогнозирование состава и выхода бензиновой, дизельной фракции, газов крекинга, серы в продуктах и др.) и обеспечивающим высокую адекватность модели.

Объектом исследования является математическая модель установки каталитического крекинга.

Работа направлена на разработку математической модели процесса каталитического крекинга для прогнозирования содержания серы в продуктах процесса.

Результаты разработки, как и модель, могут быть использованы как на промышленном объекте с целью оптимизации производства, сокращения всевозможных неотъемлемых затрат на экспериментальные пробеги, так и для обучения при дипломном и курсовом проектировании в виде расчетной программы для электронно-вычислительных машин.

Сырьем процесса является вакуумный газойль установки вакуумной перегонки.

Выполнение дипломной работы осуществлялась в аудитории 135, расположенной на первом этаже химического корпуса Томского политехнического университета. Аудитория 135 оборудована 10 ПК.

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

В данном разделе рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и их особенности, применимые к условиям научно-исследовательского проекта по разработке математической модели процесса каталитического крекинга для прогнозирования содержания серы в продуктах процесса

### **5.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства**

Согласно ТК РФ, № 197-ФЗ каждый работник имеет право на [60]:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до
- устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

### **5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Проектирование рабочих мест, снабженных видеотерминалами, относится к числу важных проблем эргономического проектирования в области вычислительной техники.

Рабочее место и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места программиста должны быть соблюдены следующие основные условия: оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места и достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения.

Эргономическими аспектами проектирования видеотерминальных рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа, клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

При работе с компьютером с плоским монитором рабочее место должно иметь площадь не менее 4,5 кв. м, при использовании кинескопического монитора — не менее 6 кв. м. По истечении каждого часа работы помещение должно проветриваться, согласно (СанПиН 2.2.2/2.4.134003).

В подвальных помещениях запрещено использование ксероксов, принтеров и другой оргтехники, а для обычных офисов установлены соответствующие нормативы по расстоянию между техническими средствами, согласно СанПиН 2.2.2.133203) [61].

Главными элементами рабочего места программиста являются стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя. Рабочая поза сидя вызывает минимальное утомление программиста. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства. Моторное поле - пространство рабочего места, в котором могут осуществляться двигательные действия человека.

Максимальная зона досягаемости рук - это часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе. Оптимальная зона - часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой в точке локтя и с относительно неподвижным плечом.

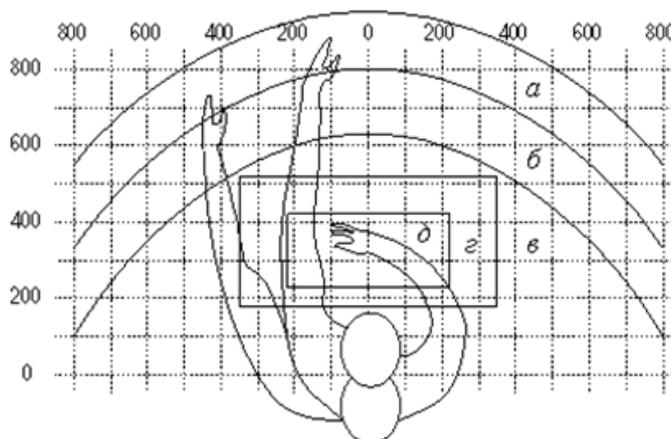


Рис.5.1. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

- а — зона максимальной досягаемости;
- б — зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в — зона легкой досягаемости ладони;
- г — оптимальное пространство для грубой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:

1. дисплей размещается в зоне а (в центре);
2. системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
3. клавиатура- в зоне г/д;
4. «мышь» - в зоне в справа;
5. сканер в зоне а/б (слева);
6. принтер находится в зоне а (справа);
7. документация необходимая при работе - в зоне легкой

досягаемости ладони – в, а в выдвижных ящиках стола - литература, неиспользуемая постоянно.

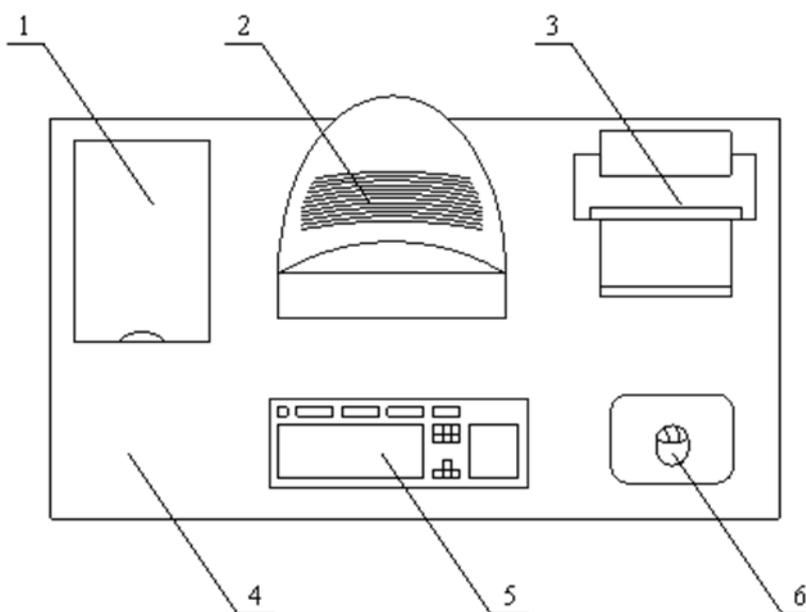


Рис.5.2. Размещение основных и периферийных составляющих ПК

(1 – сканер, 2 – монитор, 3 – принтер, 4 – поверхность рабочего стола, 5 – клавиатура, 6 – манипулятор типа «мышь».)

На рис. 5.2 показан пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе.

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;

- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы программист мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;
- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста;
- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей).
- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680-760мм.
- высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650мм.

Большое значение придается характеристикам рабочего кресла. Так, рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола находится в пределах 420-550мм. Поверхность сиденья мягкая, передний край закругленный, а угол наклона спинки - регулируемый. Необходимо предусматривать при проектировании возможность различного размещения документов: сбоку от видеотерминала, между монитором и клавиатурой и т.п. Кроме того, в случаях, когда видеотерминал имеет низкое качество изображения, например заметны мелькания, расстояние от глаз до экрана делают больше (около 700мм), чем расстояние от глаза до документа (300-450мм). Вообще при высоком качестве изображения на видеотерминале расстояние от глаз пользователя до экрана, документа и клавиатуры может быть равным.

Положение экрана определяется:

- расстоянием считывания (0,6.0,7м);
- углом считывания, направлением взгляда на  $20^\circ$  ниже горизонтали к центру экрана, причем экран перпендикулярен этому направлению.
- Должна также предусматриваться возможность регулирования экрана:
- по высоте +3 см;
- по наклону от  $-10^\circ$  до  $+20^\circ$  относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.
- Требования к рабочей позе пользователя видеотерминала следующие:

- голова не должна быть наклонена более чем на  $20^\circ$ ,
- плечи должны быть расслаблены,
- локти - под углом  $80^\circ$ . $100^\circ$ ,
- предплечья и кисти рук - в горизонтальном положении.

Причина неправильной позы пользователей обусловлена следующими факторами: нет хорошей подставки для документов, клавиатура находится слишком высоко, а документы - низко, некуда положить руки и кисти, недостаточно пространство для ног.

В целях преодоления указанных недостатков даются общие рекомендации: лучше передвижная клавиатура; должны быть предусмотрены специальные приспособления для регулирования высоты стола, клавиатуры и экрана, а также подставка для рук.

Существенное значение для производительной и качественной работы на компьютере имеют размеры знаков, плотность их размещения, контраст и соотношение яркостей символов и фона экрана. Если расстояние от глаз оператора до экрана дисплея составляет 60.80 см, то высота знака должна быть не менее 3мм, оптимальное соотношение ширины и высоты знака составляет 3:4, а расстояние между знаками – 15.20% их высоты. Соотношение яркости фона экрана и символов - от 1:2 до 1:15.

Во время пользования компьютером медики советуют устанавливать монитор на расстоянии 50-60 см от глаз. Специалисты также считают, что верхняя часть видеодисплея должна быть на уровне глаз или чуть ниже. Когда человек смотрит прямо перед собой, его глаза открываются шире, чем когда он смотрит вниз. За счет этого площадь обзора значительно увеличивается, вызывая обезвоживание глаз. К тому же если экран установлен высоко, а глаза широко открыты, нарушается функция моргания. Это значит, что глаза не закрываются полностью, не омываются слезной жидкостью, не получают достаточного увлажнения, что приводит к их быстрой утомляемости. Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест на производстве имеет большое

значение, как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

## **5.2 Производственная безопасность**

### **5.2.1 Обеспечение оптимального микроклимата по СанПиН 1.2.3685-21**

Микроклимат, оказывая непосредственное воздействие на один из важнейших физиологических процессов — терморегуляцию, имеет огромное значение для поддержания комфортного состояния организма.

Пониженная температура может привести к простудным заболеваниям, высыхание слизистых оболочек. Для отвода избыточного тепла из помещений небольших размеров применяются искусственная вентиляция и естественная вентиляция, а для охлаждения воздуха – кондиционеры. Для обеспечения нормальной температуры в зимнее время используются системы отопления.

В производственных помещениях микроклимат характеризуется температурой, влажностью, скоростью движения воздуха. Для того чтобы физиологические процессы в организме человека протекали нормально, окружающая атмосфера должна воспринимать тепло, вырабатываемое организмом. Соотношение между вырабатываемым человеком теплом и охлаждающей способностью среды, обеспечивающей сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения терморегуляции и создающей предпосылки для нормальной работоспособности, характеризует комфортные метеорологические условия.

Оптимальные условия работы в аудитории 135 корпуса 2 Томского политехнического университета представлены в таблице 5.1.

Рабочее место оборудовано кондиционером и отопительной системой.

Благодаря кондиционеру в рабочем помещении поддерживается температура 23-24 градусов, что соответствует СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

«Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

Таблица 5.1. Оптимальные климатические параметры

Наименование параметра	Численное значение	
	Холодный период	Теплый период
Температура воздуха, 0С	22 – 24	23 – 25
Относительная влажность(%), не более	40 – 60	40 – 60
Скорость движения воздуха на рабочем месте, м/с	0,1	0,1

### **5.2.2 Обеспечение акустической безопасности по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96**

Шум, оказывает психологическое воздействие на человека, вызывает общее утомление, ухудшение слуха, ослабляет внимание и замедляет реакцию, что приводит к снижению работоспособности и увеличению ошибок при работе. Шум влияет на весь организм человека: угнетает нервную систему, вызывает изменение скорости дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ и т. д.

На рабочих местах программистов характерно наличие механического шума и электромагнитного шума (от преобразователей напряжения). Согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шумы на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», в помещениях, оборудованных ПК, при выполнении основной работы на ПК уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА [33]. Основными источниками шума в помещении являются вентиляторы компьютеров и вращающиеся части вентиляционных устройств. Источники ультразвука и инфразвука в помещении отсутствуют.

Основными источниками шума в компьютере являются вентиляторы. В типичном компьютере их может быть установлено от 2 до 4 – по одному на процессоре, и блоке питания, также вентиляторы на видеокарте и на задней стенке корпуса. Другой источник – шум жесткого диска.

В качестве основных методов снижения шума принимаются звукоизоляция, звукопоглощение (использование звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 – 8000 Гц для отделки помещений), глушение шума и защита расстоянием.

В аудитории 135 корпуса 2 Томского политехнического университета установлено 10 компьютеров.

### **5.2.3 Обеспечение электробезопасности по ГОСТ 12.1.019-2017**

Рабочее место оборудовано компьютером, выполненным по первому классу защиты (изделия, которые в дополнение к основной изоляции имеют зажим или контакт вилки сетевого шнура для подсоединения доступных для прикосновения металлических частей к занулению). Питание осуществляется от сети 220В, 50Гц с глухозаземленной нейтралью, таким образом, компьютер относится к электроустановкам до 1 кВт с глухозаземленной нейтралью. Работа ведется в нормальном помещении: сухом (влажностью не более 60 %), без условий сырости или токопроводящей пыли, токопроводящих полов, высокой температуры, отсутствует возможность одновременного соприкосновения с металлоконструкциями здания, имеющими контакт с землей, с одной стороны и с металлическими корпусами электрооборудования с другой стороны. Питающая сеть защищена автоматическими выключателями на ток не более 25 А.

Для обеспечения электробезопасности пользователей ПЭВМ в конструкции монитора, системного блока, клавиатуры и периферийных устройств, предусмотрена двойная изоляция.

Компьютерная аудитория второго корпуса ТПУ по опасности поражения электрическим током относится к первому классу – помещение без повышенной опасности, т.к. температура в помещении не превышает 30 °С, относительная влажность воздуха не превышает 70 %, токопроводящие полы отсутствуют (полы выполнены из керамической плитки) согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [62-63].

### **5.3 Экологическая безопасность**

Меры по охране окружающей среды в случае данного проекта рассматривать нецелесообразно. Проект является информационной системой. Разрабатываемая система управления контентом не несет себе функций по управлению каким-либо внешним механическим оборудованием. Функционал системы ограничивается виртуальной средой. Программное обеспечение служит исключительно для обработки и представления данных.

#### **5.3.1 Воздействие на литосферу**

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

Одним из основных ресурсов, необходимым при выполнении работ являются различные источники света. Аудитория, в которой осуществлялась разработка проекта оснащена люминесцентными лампами, которые, согласно Постановлению Правительства РФ от 28 декабря 2020 г. N 2314 "Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью

граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде" необходимо утилизировать как ртутьсодержащие лампы.

Также значительное влияние на литосферу оказывает пластик, входящий в состав основных электронных устройств, используемых при выполнении работы.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Одним из важнейших факторов является подготовленность людей к чрезвычайным ситуациям.

Чрезвычайная ситуация – это совокупность обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями зданий, сооружений, материальных ценностей, поражению и гибелью людей.

##### **5.4.1 Анализ возможных ЧС**

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация которая может возникнуть при работе с ПЭВМ – пожар, так как в современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем, в непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода и кабели, при протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, при этом возможно оплавление изоляции и возникновение возгорания. Возникновение других видов ЧС – маловероятно.

##### **5.4.2 Пожарная безопасность**

При работе компьютерной техники выделяется много тепла, что может привести к пожароопасной ситуации. Источниками зажигания так же могут служить приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционеры воздуха. Серьёзную опасность представляют

различные электроизоляционные материалы, используемые для защиты от механических воздействий отдельных радиодеталей.

В связи с этим, участки, на которых используется компьютерная техника, по пожарной опасности относятся к категории пожароопасных “В”.

При пожаре люди должны покинуть помещение в течение минимального времени.

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

Для тушения пожаров необходимо применять углекислотные (ОУ-8 - 1 шт.) и порошковые (ОП-5 – 1 шт.) огнетушители, которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем. Воду разрешено применять только во вспомогательных помещениях.

Исходя из норм пожарной безопасности, для машинного зала площадью до 100 м<sup>2</sup> (для нашего случая около 54 м<sup>2</sup>) требуются следующие первичные средства пожаротушения:

- один углекислотный огнетушитель типа ОУ-5 или ОУ-8, с помощью которого можно тушить загорания различных материалов и установок напряжением до 1000 В;

- один порошковый огнетушитель ОП-5.

Помещение офиса должно быть оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить дежурный персонал о пожаре.

Пожарные извещатели преобразуют неэлектрические физические величины (излучение тепловой или световой энергии, движение частиц дыма) в электрические, которые в виде сигнала определенной формы направляются по проводам на приемную станцию. Датчики не должны быть друг от друга дальше 9 метров, а от стены – не более чем в 4,5 метра. В помещении обязательно должно быть не менее двух датчиков, поскольку так они страхуют друг друга и более полно охватывают территорию. Если

извещатели ставятся не на потолок, а на стену, между ними должно быть хотя бы 2 метра расстояния, поскольку иначе образуется так называемый дымовой карман, из-за которого частота срабатываний резко увеличивается.

В качестве пожарных извещателей устанавливаются дымовые фотоэлектрические извещатели типа ИДФ-1 или ДИП-1. Исходя из высоты потолка (4 м) и площади помещения (30-40 м<sup>2</sup>) по нормам достаточно двух извещателей на весь офис. Эти устройства характеризуются высокой скоростью и надежностью срабатывания и работают на принципе рассеяния частицами дыма теплового излучения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы установлены различия в составе гидроочищенного и негидроочищенного потоков сырья каталитического крекинга, а именно наличие в смесевом сырье более высокомолекулярных серосодержащих соединений С4-дибензотиофены/бензонафтотиофенов (2,006 % мас.).

С использованием методов квантовой химии установлено, что реакции переноса водорода с образованием сероводорода и ароматических углеводородов из бензонафтотиофенов характеризуются большей термодинамической вероятностью  $-(143,14,73-171,5)$  кДж/моль, чем реакции переноса водорода с участием дибензотиофенов  $-(8,07-26,25)$  кДж/моль и бензотиофенов.  $-(92,58-20,20)$  кДж/моль. Установлено, что раскрытие тиофенового кольца бензотиофена протекает с образованием сероводорода с большей термодинамической вероятностью  $-(123,73-140,15)$  кДж/моль, чем реакции переноса водорода с образованием тиофена и реакций тиофена с образованием сероводорода  $-(78,50-94,13)$  кДж/моль. Согласно термодинамическим данным для реакций циклизации благоприятны низкие температуры процесса  $-(32,07-13,0382)$  кДж/моль.

С учетом полученных экспериментальных результатов, механизма превращений сернистых соединений на цеолитных катализаторах в условиях каталитического крекинга и установленных термодинамических закономерностей процесса, разработана реакционная схема процесса каталитического крекинга до 20 компонентов и 31 реакции. Программная реализация алгоритма расчета показателей процесса с учетом прогнозирования содержания сернистых соединений в продуктах выполнена на языке Python и использована для решения обратной кинетической задачи.

Установлено, что высокими скоростями характеризуются реакции крекинга алканов с образованием изоалканов и олефинов (0,16 с<sup>-1</sup>) и

деалкилирования циклоалканов (0,19 с-1) и алкилбензотиофенов (0,51 с-1), иароматических углеводородов (0,2067 с-1), реакции переноса водорода с участием серусодержащих компонентов, причем перенос водорода с образованием сероводорода из тиофена протекает значительно более интенсивнее (12,2 м3моль-1с-1), чем упомянутая реакция с участием бензотиофенов (0,6 м3моль-1с-1). Среди реакций циклизации и алкилирования наибольшей скоростью характеризуется реакция циклизации алкилбензотиофенов с образованием высокомолекулярных серусодержащих структур (0,46 м3моль-1с-1). Наибольшей скоростью среди вторичных реакций крекинга характеризуются реакции образования газов и бутан-бутиленовой фракции, переноса водорода с образованием изоалканов и алкилбензотиофенов из дибензотиофенов, реакции поликонденсации углеводородов и гетероатомных соединений (0,27 и 0,0896 м3моль-1с-1).

Установлено, что входящие в состав сернистые компоненты, представленные в основном соединениями дибензотиофенового ряда, в процессе каталитического крекинга преимущественно перераспределяются в газ в виде сероводорода (1594–59,37 ppm) и в среднедистиллятные фракции в виде дибензотиофенов(13704–41573 ppm) бензотиофенов короткими алкильными заместителями (1628–5913 ppm) и алкилбензотиофенов C4-C6 (175–230 ppm). Содержание тиофенов и бензотиофенов в бензине при переработке гидроочищенного потока составило 185 ppm и 1182 ppm при переработке негидроочищенного сырья, содержание полиароматических сернистых соединений в которых составляло 39340 и 57270 ppm. Содержание сероводорода в газах в 3,9 раз выше при переработке высокоароматического негидроочищенного сырья.

Установлено, что при содержании в сырье серы около 6000 и 210 ppm при поддержании температуры крекинга на уровне 528 С достигается максимально допустимое содержание серы в бензинах для экологического класса К2 и К1 – не более 500 и 10 ppm согласно техническому регламенту таможенного союза ТР ТС 013/2011.

## Список публикаций

*Доклад в сборнике материалов Международной конференции*

- 1 Безруких П. Д., Орешина А. А. Определение группового состава сырья и продуктов каталитического крекинга методом градиентной хроматографии // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера: в 2 т., Томск, 16-19 Мая 2022. - Томск: ТПУ, 2022 - Т. 2 - С. 35-36
- 2 Безруких П. Д., Гриценко Е. Ф., Орешина А. А. Определение физико-химических свойств и группового состава вакуумного дистиллята из смеси казахстанской и западно-сибирской нефтей // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня основания Томского политехнического университета. В 2 томах, Томск, 17-20 Мая 2021. - Томск: ТПУ, 2021 - Т. 2 - С. 32-33
- 3 Орешина А. А., Вымятнин Е. К., Назарова (Силко) Г. Ю., Безруких П. Д., Гриценко Е. Ф. Прогнозирование эффективных режимов работы лифт-реактора каталитического крекинга с применением метода математического моделирования // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 7 т., Томск, 27-30 Апреля 2021. - Томск: ТГУ, 2021 - Т. 2. Химия - С. 184-186
- 4 Гриценко Е. Ф., Безруких П. Д., Орешина А. А. Определение физико-химических свойств тяжёлых нефтяных фракций // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания ТПУ, Томск, 5-9 Апреля 2021. - Томск: ТПУ, 2021 - Т. 2 - С. 261

*Доклад в сборнике материалов Всероссийской конференции*

- 1 Назарова (Силко) Г. Ю., Ивашкина (Михайлова) Е. Н., Нафо Б. -, Безруких П. Д. Вовлечение гачей с установки депарафинизации масел в переработку лёгкого вакуумного газойля на установках каталитического крекинга // Актуальные вопросы химической технологии и окружающей среды: сборник материалов IX Всероссийской конференции, посвященной 55-летию Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, 1-2 Декабря 2022. - Чебоксары: ЧГУ, 2022 - С. 123-124

2 Безруких П. Д., Орешина А. А. Моделирование процесса каталитического крекинга с учетом превращений сернистых соединений// XXIV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых. «Химия и химическая технология в XXI веке»: в 2 т., Томск, 5-19 Мая 2023. - Томск: ТПУ, 2023- Т. 2 - С. 35-36

## Список литературных источников

1. Заботин Л.И. Химия и технология вторичных процессов переработки нефти //Учебное пособие. — Самара: "СамГТУ", 2014. — 332 с.
2. Капустин, В.М., Гуреев, А.А. Технология переработки нефти. Часть 2. Деструктивные процессы. [Электронный ресурс]. - М.: Издательский Дом "Градусы", 2018. - 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). - ISBN 978-5-0075-4235-0.
3. Анчита, Х. Переработка тяжелой нефти. Реакторы и моделирование процессов. - М.: Недра, 2015. - 232 с. - ISBN 978-5-94898-382.
4. Ахметов, А.Ф., Кондрашева, Н.К., Герасимова, Е.В. Основы нефтепереработки. - М.: Издательство "Нефть и газ", 2017. - 320 с. - ISBN 978-5-9999-6673-7.
5. Ахметов, С.А. Физико-химическая технология глубокой переработки нефти и газа. Часть 1: Учебное пособие / С.А. Ахметов. - Уфа: Издательство Башкирского государственного университета, 2011. - 301 с. - ISBN 978-5-7477-2880-6.
6. Баннов, П.Г. Процессы переработки нефти. Учебно-методическое пособие для повышения квалификации работников нефтеперерабатывающей промышленности Ч III / П.Г. Баннов. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2003. - 504 с.
7. Грузе, В.А., Стивенс, Д.Р. Технология переработки нефти (Теоретические основы). - М.: Гостоптехиздат, 1964. - 548 с.
8. Кафтанов, С.В. (ред.) Общая химическая технология топлива. - М.: Издательский Дом МЭИ, 2012. - 416 с. - ISBN 978-5-94074-432-7.
9. Жоров, Ю.М. Моделирование физико-химических процессов нефтепереработки и нефтехимии. - М.: Издательство МГУ, 2015. - 288 с. - ISBN 5-211-04768-1.
10. <https://ppt-online.org/560899>
11. Гутыря, В.С. Каталитические процессы в нефтепереработке и нефтехимии. Избранные труды. - М.: Недра, 1985. - 432 с.

12. Черкасова Е.И., Хакимов А.Х. Модернизация установки каталитического крекинга 43-103 // Вестник Казанского технологического университета. 2017. №17. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-ustanovki-kataliticheskogo-krekinga-43-103> (дата обращения: 25.05.2023).

13. Агабеков, В.Е., Косяков, В.К. Нефть и газ. Технологии и продукты переработки. - М.: Издательство "Арктик-Информ", 2013. - 400 с. - ISBN 978-5-9904413-0-2.

14. Кулакова, И.И., Лисичкин, Г.В. Каталитическая химия. Часть 1. Основы катализа. - М.: Издательство Московского физико-технического института, 2015. - 208 с. - ISBN 978-5-7417-0326-9.

15. Кравцов, А.В., Ивашкина, Е.Н., Юрьев, Е.М. Теоретические основы каталитических процессов переработки нефти и газа. - М.: Издательский Дом "Недра-Бизнесцентр", 2012. - 352 с. - ISBN 978-5-88302-362-9.

16. Крылов, О.В. Гетерогенный катализ. - М.: Издательство "Высшая школа", 2010. - 384 с. - ISBN 978-5-06-005798-1.

17. Моисеев И.И., Яковлев А.Н. Каталитический крекинг нефти: катализаторы и процессы. - М.: Издательство "Химия", 1992. - 448 с. - ISBN 5-7245-0088-6.

18. Романенко В.Е., Бутенко В.Г. Каталитический крекинг: основы, процессы и перспективы. - М.: Издательский Дом "Недра-Бизнесцентр", 2014. - 288 с. - ISBN 978-5-88302-461-9.

19. Кабанов А.И., Давыдов М.Ю. Каталитический крекинг: новые технологии и перспективы. - М.: Издательство "Московский Химический Журнал", 2015. - 320 с. - ISBN 978-5-906726-45-8.

20. Казачкин Ю.В., Крымская В.Г. Каталитические процессы в переработке нефти. - М.: Издательский Дом "Недра-Бизнесцентр", 2009. - 336 с. - ISBN 978-5-88302-292-9.

21. Курнаев А.А. Каталитический крекинг: технологии и применение. - М.: Издательство "Химия", 2004. - 336 с. - ISBN 5-7245-1300-1.

22. Серегин В.А., Зазулин А.В. Катализаторы: свойства, типы и применение в производстве нефтепродуктов. - М.: Издательство "Высшая школа", 2017. - 320 с. - ISBN 978-5-06-008060-6.
23. Пронченко Л.А., Перельгина А.В. Каталитический крекинг: исследование и перспективы. - М.: Издательский Дом "Недра", 2016. - 256 с. - ISBN 978-5-7089-1241-8.
24. Кузнецов В.Н., Руденко Д.Н. Нефть и ее переработка. - М.: Издательство "Эксмо", 2012. - 384 с. - ISBN 978-5-699-56630-7.
25. Обломов В.И., Борисов Ю.Г. Сырье и продукты нефтепереработки. - М.: Издательский Дом "Недра", 2008. - 525 с. - ISBN 978-5-9524-3861-6.
26. Васильев А.В., Пучков Е.П. Нефтепереработка: сырье, технологии, продукты. - М.: Издательство "Химия", 2011. - 448 с. - ISBN 978-5-7245-1703-2.
27. Тычинский Т.Б., Пономаренко В.Н. Нефтеразведка и нефтедобыча. - М.: Недра, 2005. - 544 с. - ISBN 5-93906-003-3.
28. Серегин В.А., Зазулин А.В. Нефтехимия: сырье, производство, продукты. - М.: Издательство "Химия", 2017. - 608 с. - ISBN 978-5-7245-2411-5.
29. Певзнер В.М. Нефтепереработка: сырье, процессы, технологии. - М.: Издательство "Эксмо", 2017. - 384 с. - ISBN 978-5-699-99460-8.
30. Corma A., Melo F.V., Valencia S. Catalytic Cracking of Heavy Petroleum Fractions. - Springer, 1999. - 475 p. - ISBN 0-7923-5499-9.
31. Технический регламент таможенного союза 013/2011 "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту".
32. Кулагин Ю.А., Камчатнов Ю.М., Захаров В.П. Каталитический крекинг. Механизмы реакций и катализаторы. - М.: Химия, 1990. - 280 с. - ISBN 5-7245-0499-7.

33. Образцов И.Н., Тарасов А.Л., Гуренков А.А. и др. Каталитический крекинг. - М.: Недра, 1990. - 352 с. - ISBN 5-7584-0004-3.

34. Строев Ю.А., Бушманов В.С., Смирнов С.В. и др. Каталитический крекинг. - М.: Издательство МГУ, 2010. - 199 с. - ISBN 978-5-317-03017-2.

35. Хроменкова О.А., Бондарев С.А., Шелестова Е.М. Влияние кислородсодержащих соединений на эффективность процесса каталитического крекинга. // Химическая промышленность сегодня. - № 10, 2017.

36. Камчатнов Ю.М. Камчатнов Ю.М., Кулагин Ю.А. Кинетика реакций каталитического крекинга и влияние примесей. // Химическая технология. - № 3, 1983.

37. Гуренков А.А., Овчинников В.И., Рыжков М.Ю. Влияние азотсодержащих соединений на крекинг. // Химическая промышленность сегодня. - № 11, 2008.

38. "Технология нефти и газа" (Под ред. Шуралева А.Ю., Огай Ю.Т.) - в этом учебнике есть глава "Гидроочистка каталитических газообразных фракций и нефтепродуктов", которая посвящена принципам и методам гидроочистки.

39. "Каталитические процессы в нефтехимии" (Под ред. З.Р. Исмагилова, М.М. Насыбуллина) - это научная монография, которая рассматривает различные аспекты каталитической переработки нефти и газа, включая главу о гидроочистке сырья каталитического крекинга.

40. "Гидроочистка и гидрообработка нефтью. Обеспечение экологической безопасности процессов" (М.Г. Багошвили, А.М. Верещагина, Н.А. Добротворская) - это учебное пособие, которое содержит подробную информацию о гидроочистке нефтепродуктов и крекингových фракций.

41. "Гидроочистка нефти и газа" (Шаповалов А.В.) - в этой книге рассказывается о различных методах гидроочистки, включая гидрообработку нефтепродуктов, полученных из каталитического крекинга.

42. "Промышленная экология нефтеперерабатывающих предприятий" (Сабилов С.И., Ширшов Б.А., Косарева Л.А.) - в главе этой книги "Охрана окружающей среды на предприятиях нефтепереработки" авторы освещают такие темы, как применение гидроочистки для обработки крекинг-фракций.

43. ГОСТ 32329-2013 - Нефтепродукты. Определение коррозионного воздействия на медную пластинку

44. ГОСТ 32403-2013 - Нефтепродукты. Определение содержания серы (ламповый метод)

45. ГОСТ 1437-75 - Нефтепродукты темные. Ускоренный метод определения серы

46. Коксообразование на катализаторах при каталитическом крекинге углеводородов: причинно-следственные связи и механизмы реакций. Д.В. Ордворцев, А.А. Федоров, Г.С. Казакова. Журнал "Катализ в промышленности", 2016.

47. Коксообразование на поверхности катализаторов и его влияние на процессы каталитического крекинга углеводородов. А.А. Бабаев, А.Ю. Галиев, С.В. Щуков. Журнал "Нефтехимия", 2013.

48. Крекинг нефтяных фракций на цеолитсодержащих катализаторах / С.Н. Хаджиев, Ю.П. Суворов, В.Р. Зиновьев ; под ред. С.Н. Хаджиева – 1982.

49. Rahimpour MR, Ghiasi M, Aroon MA. Sulfur Removal from Cracked Naphtha Using Catalytic Distillation: A New Approach. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2013; 52:2342-2352. doi: 10.1021/ie301835m.

50. Sun C, Wang X, Zhang J, Zhang X, Ding L, Wang W. The removal of sulfur in fluid catalytic cracking gasoline by selective adsorption: Effect of process parameters on sulfur removal. *Fuel.* 2018; 233:329-336. doi: 10.1016/j.fuel.2018.06.024.

51. Latifi M, Niknam Sh, Hamidi AA, Mosayebi E. Simulation of sulfur removal from gasoline by selective adsorption process. *Chem. Eng. Res. Des.* 2015; 104:82-91. doi: 10.1016/j.cherd.2015.08.012.
52. Pan Z, Lin Y, Wang X. Sulfur removal from fluid catalytic cracking gasoline using solid adsorbent. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2009; 84:764-769. doi: 10.1002/jctb.2117.
53. Zhang S, Chen L, Liu Q, Wang Y, Li Y, Wang S, et al. Sulfur removal from FCC gasoline by a combined adsorption/reaction process using ceria-zirconia catalyst. *Fuel.* 2019; 239:1012-1019. doi: 10.1016/j.fuel.2018.11.002.
54. Fang L, Dai H, Zou Y, Chen M, Pan Y, Fan W, et al. New strategy for sulfur removal from gasoline using supported ionic liquid phase (SILP) technology. *Chem. Eng. J.* 2015; 275:99-105. doi: 10.1016/j.cej.2015.04.071.
55. Li Y, Ma Y, Fang T, Zhang Q, Li X, Bai L, et al. Organosulfur compounds and sulfur resistance of catalysts for fluid catalytic cracking: A review. *Fuel Process. Technol.* 2019; 195:106169. doi: 10.1016/j.fuproc.2019.106169.
56. Chen L, Wang S, Yu X, Hu Y, Zhang S, Wang Y, et al. Comparison of sulfur removal by different adsorbents from FCC gasoline: Experiment and simulation. *Chem. Eng. J.* 2019; 369:72-79. doi: 10.1016/j.cej.2019.03.170.
57. Zhang Y, Zhao Y, Li J, Cai L, Li R, Zhang Z, et al. Sulfur removal from FCC gasoline using a resin-loaded membrane. *Chem. Eng. J.* 2019; 366:165-170. doi: 10.1016/j.cej.2019.02.016.
58. Gao F, Liu T, Zhang Z, Cui X, Wang T, Deng J. Simultaneous removal of sulfur and nitrogen compounds from diesel fuel using Fe-based catalyst under mild conditions. *Fuel.* 2019; 251:568-575. doi: 10.1016/j.fuel.2019.04.066.
59. Потапенко О.В. Термические и каталитические превращения сераорганических соединений в процессе крекинга нефтяного сырья. Диссертация на соискание учёной степени кандидата химических наук. Омск – 2012.

60. Белов, Сергей Викторович. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) : учебник для академического бакалавриата / С. В. Белов. - 5-е изд., перераб. и доп.. - Москва: Юрайт ИД Юрайт, 2015. - 703 с.

61. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П.П. Кукин и др. - 5-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2009. - 335 с.

62. Беспалов, Валерий Иванович. Надзор и контроль в сфере безопасности. Радиационная защита : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / В. И. Беспалов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 4-е изд. — Москва: Юрайт, 2016. 9 — 508 с.: ил. — Университеты России. — Библиография в конце лекций. — Предметный указатель: с. 505-507.

63. Правила устройства электроустановок. Раздел 6. Электрическое освещение. Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. - утв. Минтопэнерго России - 06.10.1999.

64. . Давыдов, Борис Ильич. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений / Б. И. Давыдов, В. С. Тихончук, В. В. Антипов. — Москва: Энергоатомиздат, 1984. — 177 с.: ил.: 21 см.

65. Авраамов, Ю. С. Защита человека от электромагнитных воздействий / Ю. С. Авраамов, Н. Н. Грачев, А. Д. Шляпин. — Москва: Изд-во МГИУ, 2002. — 232 с.: ил. — Это важно знать!. — Библиогр.: с. 227-231.

66. ГОСТ Р 22.0.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения» [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200139176> свободный (дата обращения: 04.05.2022).

67. Кодекс Российской Федерации от 28 декабря 2013 года № 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда" // Собрание законодательства Российской Федерации. - 2013. - № 53. - ст. 6985.