

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01. Химическая технология
 Отделение школы Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование промышленного процесса каталитического крекинга при расширении ресурсов сырья

УДК 665.644.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Шадрина Анна Викторовна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Кузьменко Елена Анатольевна	к.т.н., доцент		

Томск – 2022 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
ОПК(У)-2	Способность осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально-правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
ОПК(У)-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способность соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны

ОПК(У)-5	Владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность и готовность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способность налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способность анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 18.03.01. «Химическая технология» (Химическая технология подготовки и переработки нефти и газа)
 Отделение школы Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Кузьменко Е.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д7Г	Шадриной Анне Викторовне

Тема работы:

Исследование промышленного процесса каталитического крекинга при расширении ресурсов сырья	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.01.2022 г., №28-91/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2022 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – установка каталитического крекинга вакуумного дистиллята. Режим работы – непрерывный.</p> <p>Параметры технологического режима работы лифт-реактора, состав смеси вакуумного дистиллята и легкого газойля коксования.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ современного состояния технологии каталитического крекинга нефтяного сырья <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Технологическое оформление процесса каталитического крекинга различного нефтяного сырья 1.2 Характеристика катализаторов крекинга 1.3 Характеристики технологического процесса каталитического крекинга 1.4 Физико-химические основы процесса каталитического крекинга и характеристики сырья 2. Объект и методы исследования 3. Моделирование процесса каталитического крекинга нефтяного сырья <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Прогнозирование выхода целевых продуктов и активности катализатора при вовлечении в переработку вакуумного дистиллята легкого газойля коксования и остатков масляного производства 3.2 Прогнозирование показателей процесса каталитического крекинга при изменении параметров технологического режима и состава сырья 3.3 Прогнозирование топливного и нефтехимического режима процесса каталитического крекинга 			
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>				
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>				
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>			
<p>Социальная ответственность</p>	<p style="text-align: center;">Мезенцева Ирина Леонидовна</p>			
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p style="text-align: center;">Кашук Ирина Вадимовна</p>			
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>				
<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>				
<p style="text-align: right;">14.04.2022 г.</p>				
<p>Задание выдал руководитель:</p>				
<p style="text-align: center;">Должность</p>	<p style="text-align: center;">ФИО</p>	<p style="text-align: center;">Ученая степень, звание</p>	<p style="text-align: center;">Подпись</p>	<p style="text-align: center;">Дата</p>
<p style="text-align: center;">Доцент ОХИ ИШПР</p>	<p style="text-align: center;">Назарова Галина Юрьевна</p>	<p style="text-align: center;">к.т.н., доцент</p>		<p style="text-align: center;">14.04.2022</p>
<p>Задание принял к исполнению студент:</p>				
<p style="text-align: center;">Группа</p>	<p style="text-align: center;">ФИО</p>	<p style="text-align: center;">Подпись</p>	<p style="text-align: center;">Дата</p>	
<p style="text-align: center;">3-2Д7Г</p>	<p style="text-align: center;">Шадрина Анна Викторовна</p>		<p style="text-align: center;">14.04.2022</p>	

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д7Г	Шадриной Анне Викторовне

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности. SWOT-анализ.</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ.</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		28.02.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Шадрина Анна Викторовна		28.02.22

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
3-2Д7Г		Шадриной Анне Викторовне	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01«Химическая технология»

Тема ВКР:

Исследование промышленного процесса каталитического крекинга при расширении ресурсов сырья	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p><i>Объект исследования</i> процесс каталитического крекинга нефтяного сырья <i>Область применения</i> нефтегазовая промышленность <i>Рабочая зона:</i> аудитория, оснащенная необходимым оборудованием для работы <i>Размеры помещения:</i> 10*15м <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> персональный компьютер, принтер, рабочий стол и стул. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> исследование путем моделирования, прогнозирования и расчета процесса каталитического крекинга при расширении ресурсов сырья</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>"Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022)</p> <p>Постановление от ГЛАВНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ВРАЧА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ от 2 декабря 2020 года N 40 Об утверждении санитарных правил СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда"</p> <p>ТОИ Р-45-048-97. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональных электронно-вычислительных машинах</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 Группа Т58. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения: Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p>Опасные производственные факторы: 1. Поражение электрическим током (оголенные части проводов, находящихся под напряжением; отсутствие заземления; электростатическое напряжение); Вредные производственный факторы: 1. Отсутствие или недостаток необходимого</p>

	<p>естественного и искусственного освещения;</p> <p>2. Микроклимат (температура, относительная влажность воздуха и скорость движения воздуха);</p> <p>3. Напряженность труда;</p> <p>4. Монотонность труда.</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <p>системы вентиляции, кондиционирования и обогрева помещения;</p> <p>защитное заземление и использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов);</p> <p>устройства защитных отключений питания;</p> <p>конструкция рабочего стула (кресла) должна позволять изменять рабочую позу работнику, также должен быть оснащен полумягким сиденьем и спинкой;</p>
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	<p>Воздействие на селитебную зону: загрязнение территории, путем неправильной утилизации вычислительной техники;</p> <p>Воздействие на литосферу: загрязнение почв, путем неправильной утилизации вычислительной техники;</p> <p>Воздействие на гидросферу: загрязнение грунтовых вод и морей путем неправильной утилизации вычислительной техники;</p> <p>Воздействие на атмосферу: выброс загрязняющих химических веществ при неправильной утилизации вычислительной технике, например, сжигание, выброс вредных веществ в атмосферу</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:	<p>Возможные ЧС:</p> <p>Техногенные аварии: возникновение пожара, взрыва, разрушения здания</p> <p>Природные катастрофы: наводнение, цунами ураган, удары молний и т.д.;</p> <p>Геологические воздействия: обвалы, землетрясения, оползни и т.д.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: возникновение пожара</p>

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Шадрина Анна Викторовна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 87 страниц; 20 рисунков, 28 таблиц, 38 источников.

Ключевые слова: каталитический крекинг, вакуумный дистиллят, легкий газойль коксования, экстракт, гач, математическое моделирование, бензин и лёгкие олефины.

Объектом исследования является установка каталитического крекинга.

Цель работы - прогнозирование топливного и нефтехимического режима при вовлечении в переработку вакуумного газойля легкого газойля коксования и остатков масляного производства.

Работа направлена на расширение ресурсов сырья каталитического крекинга за счет вовлечения в переработку продуктов термических процессов и остатков масляного производства. Применение математической модели процесса каталитического крекинга позволило оценить влияние содержания в сырье смол, насыщенных и ароматических углеводородов на выход целевых и побочных продуктов процесса, а также степень дезактивации катализатора. Определены топливный и нефтехимический режимы процесса при вовлечении в переработку сырья различного типа.

Область применения: промышленные предприятия топливной и нефтехимической отрасли.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1.1 Технологическое оформление процесса каталитического крекинга различного нефтяного сырья	14
1.2 Характеристика катализаторов крекинга	23
1.3 Характеристики технологического процесса каталитического крекинга.	28
1.4 Физико-химические основы процесса каталитического крекинга и характеристики сырья.....	28
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	36
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ.....	38
3.1 Прогнозирование выхода целевых продуктов и активности катализатора при вовлечении в переработку вакуумного дистиллята легкого газойля коксования и остатков масляного производства	40
3.2 Прогнозирование показателей процесса каталитического крекинга при изменении параметров технологического режима и состава сырья.....	42
3.3 Прогнозирование топливного и нефтехимического режима процесса каталитического крекинга	43
4.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	46
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	46
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	46
4.1.2 SWOT-анализ	48
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	52
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	52
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	54
4.3 Бюджет научно-технического исследования	60

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	60
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	61
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	62
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	64
4.3.5 Накладные расходы	64
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	66
Выводы по разделу.....	69
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	70
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	70
5.2 Производственная безопасность.....	72
5.3 Экологическая безопасность.....	78
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	82
Список использованных источников	84

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач современной нефтеперерабатывающей промышленности является обеспечение неуклонно растущей потребности в качественных моторных топливах и сырье для нефтехимии. Доля бензина крекинга в товарном бензине составляет 30-50 % на современных НПЗ. Вследствие ужесточения экологических требований к современным товарным бензинам повышается доля в их составе продуктов алкилирования, имеющих высокие значения октановых характеристик.

С целью углубления переработки нефти и обеспечения спроса на нефтехимическое сырье и топлива, в настоящее время на российских предприятиях широко внедряются процессы глубокой переработки нефтяного сырья, в том числе гидрокрекинг, коксование, каталитический крекинг. Каталитический крекинг - процесс крекирования углеводородов, входящих в состав тяжелого нефтяного сырья под воздействием температуры в присутствии цеолитсодержащего катализатора. Процесс каталитического крекинга является одним из основных процессов, направленных на получение высококачественного компонента автобензина, а также непредельных газов, использующихся в качестве сырья для нефтехимии.

Традиционным сырьем каталитического крекинга являются вакуумные газойли. В условиях введения комплексов глубокой переработки нефти на НПЗ на базе гидрокрекинга возникает проблема дефицита традиционного сырья для технологии каталитического крекинга, что вызывает необходимость решения двух основных задач.

Во-первых, определение возможности вовлечения в переработку различных нефтяных остатков, во-вторых, оптимизация теплового режима при работе установки по топливному и нефтехимическому вариантам процесса при использовании различного нефтяного сырья. Сегодня в процесс крекинга вовлекают как легкие (легкий газойль, неостребованная бензиновая фракция), так и тяжелые компоненты (остатки производства масел, тяжелые газойли коксования и гидрокрекинга). При этом в обоих случаях конверсия сырья может

ограничиваться, во-первых, количеством кокса и дезактивацией катализатора, например, при переработке тяжелого высоко ароматизированного сырья, и, во-вторых, избыточным газообразованием при переработке легкого низкокачественного сырья.

Для повышения эффективности технологий глубокой переработки нефтяного сырья в мире широко используют метод математического моделирования [1,12,13]. Этот метод использован в работе для прогнозирования показателей процесса при вовлечении в переработку различных типов сырья и оптимизации режима для обеспечения работы установки как по топливному и нефтехимическому вариантам процесса.

В этой связи, целью работы является прогнозирование топливного и нефтехимического режима каталитического крекинга при расширении ресурсов сырья за счет вовлечения в переработку вакуумного газойля продуктов термических процессов и остаточного нефтяного сырья с применением математической модели [14].

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить теоретические основы процесса каталитического крекинга и типы вовлекаемых нефтяных фракций
2. Изучить особенности переработки традиционного сырья каталитического крекинга и его смесей с остаточным сырьем и характеристики технологического процесса каталитического крекинга;
3. Выполнить численные исследования с применением математической модели по влиянию содержания в сырье смол, насыщенных и ароматических углеводородов на выход целевых и побочных продуктов процесса, а также степень дезактивации катализатора.
5. Определить топливный и нефтехимический режим процесса каталитического крекинга при переработке различного сырья.

1 Анализ современного состояния технологии каталитического крекинга нефтяного сырья

1.1 Технологическое оформление процесса каталитического крекинга различного нефтяного сырья

С увеличением потребности в моторных топливах и легких oleфинах уже несколько десятилетий идет процесс развития нефтепереработки в направлениях [1], как внедрения процессов глубокой переработки нефти, так и повышения их эффективности.

Первое направление представляет собой наиболее высокотехнологичную и интенсивно развиваемую на данный момент отрасль нефтеперерабатывающей промышленности, с созданием гибких технологических схем и всевозможных каталитических и гидрогенизационных процессов глубокой переработки нефти и нефтяных остатков [2,4].

Каталитический крекинг направлен на переработку высокомолекулярного нефтяного сырья, в том числе и остаточного, производить компоненты топлива с высокими октановыми характеристиками (85-95 п.) для двигателей внутреннего сгорания[3]. Кроме того, в процессе крекинга получают пропан-пропиленовую бутан-бутиленовую фракции – сырье для нефтехимических процессов, легкий каталитический газойль – компонент дизельного топлива и тяжелый газойль каталитического крекинга – сырье процесса коксования [10]. Современные технологии позволяют значительно снизить вредное влияние на окружающую среду, сократить количество выбросов в атмосферу [11].

В 30-ые годы XX столетия были сконструированы первые установки периодического действия со стационарным слоем катализатора, где в качестве катализатора использовали природную глину (алюмосиликаты), при этом процесс реакции и регенерации осуществлялся в одном аппарате (1936 г.) [4].

Затем последовали установки каталитического крекинга с движущим слоем шарикового катализатора (1941 г.). В процессе «Thermofor» (ТСС) применяли механический элеватор-подъемник для подъема катализатора после

регенерации на большую высоту в бункер, из которого он направлялся под действием силы тяжести в реактор и далее в регенератор, который располагался ниже реактора. Спустя несколько лет это устройство заменили на пневматический подъемник катализатора потоком воздуха - эрлифт (рисунок 1.1).

Минусом установок подобного типа стали узкие возможности системы транспорта крупно гранулированного катализатора и неэффективное применение катализаторов в этом процессе, поэтому эти установки были модернизированы и позднее введены в эксплуатацию установки с кипящим слоем микросферического алюмосиликатного катализатора, обеспечивающего большую удельную производительность (1942 - 1952 гг.).

Компания ExxonMobil с 1952-го года основывается на создании установок каталитического крекинга с кипящим слоем цеолитсодержащего катализатора. Конструкция реактора и регенератора КК приведена на рис. 1.2.

Особенностью данной установки является U-образное соединения реактора и регенератор, что обеспечивает меньший износ, как катализатора, так и поверхностей отводов благодаря невысоким скоростям потока катализатора [5]. Циркуляция катализатора между аппаратами осуществляется за счет разности давлений.

Конструкционные особенности реакторов с кипящим слоем обеспечивают легкость транспорта микросферического катализатора отсутствие значительного изменения температуры в кипящем слое, а также осуществление процесса в области, близкой к кинетической. Как правило, на установках такого типа время контакта сырья и катализатора, оказывающее значительное влияние на глубину конверсии сырья, высокое (3-15 мин.) для обеспечения высокой селективности процесса крекинга. Это является основным недостатком реакторов с кипящим слоем катализатора наряду с неравномерностью времени пребывания сырья в зоне реакции и, как следствие, неравномерному крекингу углеводородов.

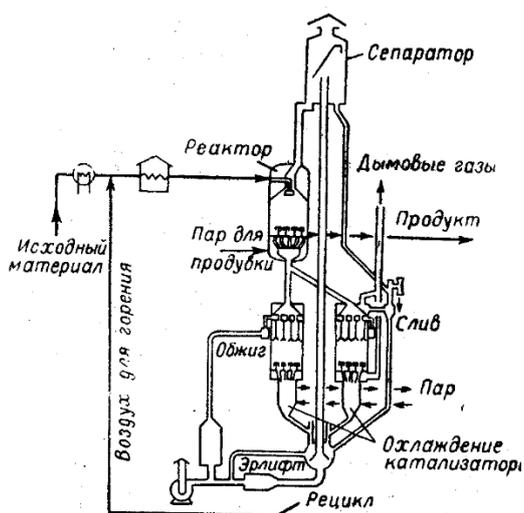


Рисунок 1.1 – Технологическое оформление установки КК с эрлифтом (ТСС)[13]

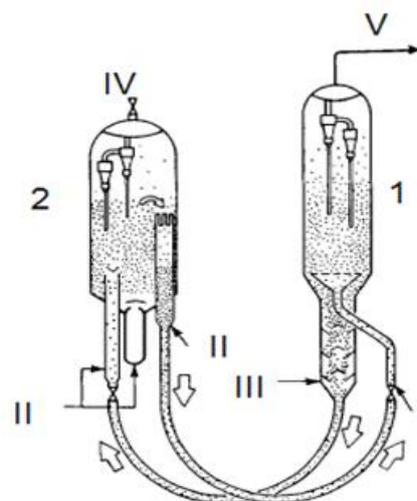


Рисунок 1.2 - Технологическое оформление установки КК (ExxonMobil)[6]:

I- сырье; II- воздух; III- пар; IV-дымовые газы; V- продукты крекинга на ректификацию

В 60-ых годах синтез и применение цеолитных материалов (цеолиты X,Y) обеспечили значительное повышение селективности процесса в отношении высокого выхода бензиновой фракции на установках с кипящим слоем микросферического катализатора. Наряду с этим, изменение типа катализатора крекинга потребовало изменения конструктивных особенностей аппаратов - переход к аппаратам с восходящим потоком микросферического цеолитсодержащего катализатора - лифт-реакторам обеспечивающим значительное снижение времени контакта сырья и катализатора при обеспечении высокого выхода светлых нефтепродуктов, (1970–1980 гг.).

В этот период компания M. W. Kellogg предложила один из вариантов конструкции установки крекинга FCC (рисунок 1.3). Особенностью данной установки является вынесенный лифт-реактор, соединенный трубопроводом с системой циклонов. Закоксованный катализатор (синтетический алюмосиликат с низким содержанием алюминия) проходит двухступенчатый десорбер для отделения жидких нефтепродуктов с последующей регенерацией и смешением с сырьем через подводящий трубопровод. Для оптимизации температуры регенерации при работе на тяжелом сырье применяется охлаждение

катализатора в плотной фазе.

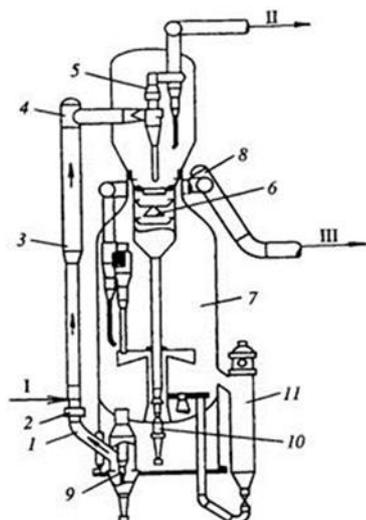


Рисунок 1.3 - Технологическое оформление устаноFCC) (Kellog) [14]

1- боковой отвод; 2- расширительная муфта; 3- вертикальный лифт-реактор; 4- отвод с правым поворотом; 5- система закрытых циклонов; 6- двухступенчатый десорбер; 7- регенератор; 8- внешний коллектор дымовых газов; 9,10 - пробковые краны для катализатора; 11- охладитель катализатора в плотной фазе; I- сырье; II- продукты реакции, направляемые на фракционирование; III- дымовые газы.

В дальнейшем, этот же производитель представил проект модификации существующей установки типа “Ortoflow B”, использующей реактор с переменным направлением потока (рисунок 1.4.). Процесс крекинга происходит не в плотном слое кипящего катализатора, а в П-образной транспортной линии. По практическим данным компании было выявлено, что длительность контакта не превышает 1,5 с, что свидетельствует о высокой активности цеолитных катализаторов.

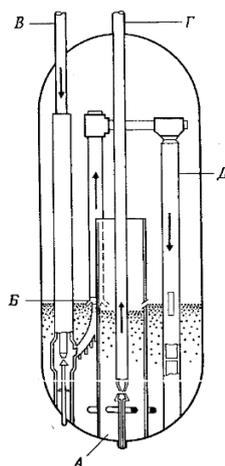


Рисунок 1.4 - Конструкция реактора на установке “Ortoflow” (Kellogg) [6]:
А -отпарная секция; *Б*- ввод сырья; *В*- стояк для регенерированного катализатора; *Г*- подъемник закоксованного катализатора; *Д*- лифт-реактор.

Установки каталитического крекинга с лифт-реактором наиболее распространены сегодня, которые впервые были построены в 1971 г. (UOP, российский аналог - комбинированная установка Г - 43-107 [7]). В таких установках используют микросферический цеолитсодержащий катализатор (рисунок 1.5) [6].

Процесс крекинга вакуумного газойля осуществляется в лифт-реакторе при температуре 515-520°C и завершается при подходе к сепарационной зоне реактора, где происходит отделение продуктов реакции от катализатора. Продукты реакции через циклоны поступают в ректификационную колонну на фракционирование. Катализатор после реактора с накопленным коксом поступает в десорбер-отпарную зону для отпарки водяным паром в противотоке. Десорбер секционирован каскадными перфорированными конусами, препятствующими созданию поршневого режима. Далее катализатор самотеком поступает в регенератор, где выжигается кокс с поверхности катализатора (выход бензина 50%, а кокса 3,6 % мас.).

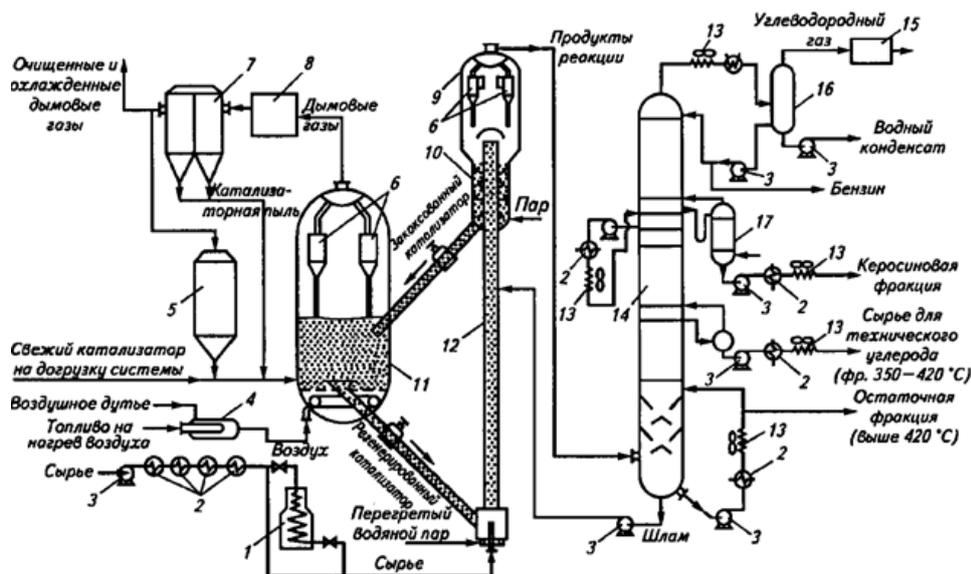


Рисунок 1.5 – Упрощенная технологическая схема установки КК с лифт-реактором (UOR) [1]

1-трубчатая печь; 2- теплообменник; 3-насос; 4- подогреватель воздуха; 5- бункер для катализатора; 6- циклоны; 7- электрофильтр; 8- котел - утилизатор; 9- сепарационная зона реактора; 10-отпарная зона; 11-регенератор с кипящим слоем; 12- реактор сквозноточный; 13- холодильник (АВО); 14-ректификационная колонна; 15- газовый блок; 16- емкость; 17-отпарная колонна.

Начиная с 1980-ых годов наблюдается существенное усовершенствование технологии каталитического крекинга с лифт-реактором, так, например, выход бензина удалось повысить до 53-55 % мас. в результате переработки гидроочищенного вакуумного дистиллята, усовершенствовании сырьевых форсунок и узла ввода сырья, а также модификации реакторно-регенераторного блока и типа применяемых микросферических катализаторов [8].

С 1982 по 1985 год повышение эффективности процесса регенерации катализатора достигнуто также при введении в эксплуатацию установок с лифт-реактором и двухступенчатой регенерацией [1]. Благодаря этому, осуществляется регулировка теплового баланса установки. На первой ступени регенерации происходит частичный выжиг кокса, в то время как на второй – полный выжиг кокса.

В виду потребности увеличения глубины переработки нефтяного сырья в

процесс каталитического крекинга вовлекают тяжелые нефтяные фракции – остатки вторичных процессов переработки нефтяного сырья, мазуты, гудроны. Примером таких установок могут быть установки типа RCC (фирмы UOP), и R2R (ITF), на которых выход бензина и кокса на сырьесоставляет 59,7 и 4,5 % мас. и 60,9 и 7,5 % мас. соответственно [9,10]. Конструкционные особенности таких установок определяются качеством перерабатываемого сырья, а также типом применяемых катализаторов (предпочтительными являются катализаторы с активной матрицей и доступностью активных центров).

Так, например, при переработке остаточного сырья, выход кокса в процессе значительно выше (ок. 7% мас.), чем при переработке вакуумных дистиллятов (5% мас.), что приводит к избыточному теплообразованию в процессе регенерации, следовательно, тепло необходимо удалять для регулирования температуры в кипящем слое регенератора (ниже 730 °С). Для проведения крекинга крупных молекул требуется поменьше мере температура 527 °С и время пребывания в реакторе не менее 2,5с. Кроме того, при переработке требуется более эффективное распыление сырья, при этом регенерированный катализатор должен равномерно контактировать с сырьем.

Схема реакторно-регенераторного блока установки RCC представлена на рисунке 1.6. Особенностью установки RCC является использование двухступенчатой регенерации (основная часть кокса выгорает на первой ступени регенерации, на второй ступени происходит дожиг остаточного кокса), что позволяет снизить температуру в регенераторе. Дополнительное регулирование температуры достигается также за счет использования холодильника катализатора в плотной фазе.

Конструкции современных установок каталитического крекинга значительно различаются, эти особенности связаны с типом сырья, поступающего на установку. Например, совместная переработка вакуумного газойля и мазута потребовала изменения конструкции ввода сырья, циклонов в аппаратах реакторно-регенераторного блока, а также создания блока охлаждения катализатора, необходимого при переработке тяжелого сырья. С целью

снижения необратимой дезактивации катализатора, вызванной тяжелыми металлами, присутствующими в сырье, и уменьшения выхода оксидов серы в газах регенерации стали использовать пассиватор тяжелых металлов и добавки к катализатору, которые связывают серу при окислении кокса и переводят ее в реакторе в сероводород.

Развитие технологии каталитического крекинга и модернизация катализаторов способствовали значительному повышению эффективности процесса с увеличением выхода и качества целевого продукта. Технология MillisecondCatalyticCracking (MSCC) с ультракоротким временем контакта, представленная на рисунке 1.7, позволяет минимизировать закоксовывание катализатора при переработке утяжеленного вакуумного газойля.

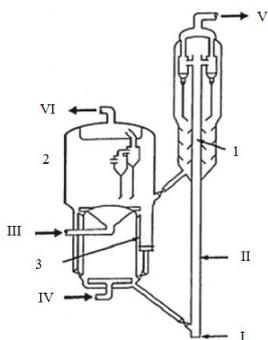


Рисунок 1.6 – Технологическое оформление установки RCC (AslandOil и UOP) [1]:

1- лифт-реактор; 2- двухступенчатый регенератор; 3- линия транспортировки катализатора; I- газ для подъема катализатора; II- сырье; III- воздух в первую ступень регенерации; IV- воздух во вторую ступень регенерации; V- продукты на ректификацию; VI- дымовые газы

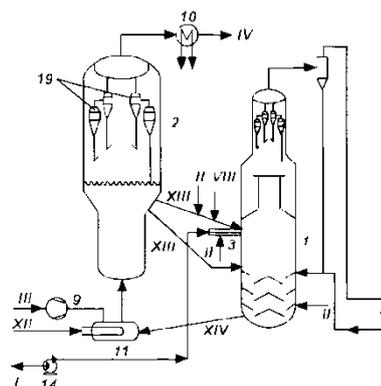


Рисунок 1.7 – Технологическое оформление установки MSCC [1]:

1 - реактор; 2- регенератор; 3- распределитель сырья; 4- ректификационная колонна; 9- воздушный компрессор; 10- котел-утилизатор; 11- подогреватель воздуха; 14- насосы; 19- циклоны; I- сырье; II - пар; III- воздух; IV- дымовые газы; VIII- кислая вода; XII - топливо в подогреватель II, XIII - регенерированный катализатор; XIV- закоксованный катализатор.

Благодаря, улучшенной системе контактирования сырья и катализатора (сырье вводят перпендикулярно потоку катализатора, который движется вниз) при быстром разделении катализатора и пара обеспечивает сокращение

нежелательных вторичных реакций. Значительно сокращается время контакта сырья и катализатора - до 0,1с, в отличие от установок каталитического крекинга с лифт-реактором, которое составляет от 2 до 4с.

В таблице 1.1 представлены сравнительные показатели по выходу продуктов установок FCC и MSCC.

Таблица 1.1 - Показатели выходов продуктов установок с лифт-реактором FCC и MSCC[1].

	FCC	MSCC
Свойства сырья:		
Плотность при 15 °С, кг/м ³	916	913
Коксуемость, % (мас.)	1,2	1,2
Выходы:		
Сухой газ $\Sigma C_1 - C_2$	7,4	3,6
Пропан-пропиленовая и бутан-бутиленовая фракции $\Sigma C_3 - C_4$	21,5	20,5
Бензиновая фракция (C ₅ —221 °С)	50,4	57,0
Легкий каталитический газойль (221—360 °С)	21,5	20,6
Тяжелый каталитический газойль (> 360 °С)	9,1	9,0
Кокс, % (мас.)	5,8	5,5

Кроме того, в последние десятилетия разработаны технологии каталитического крекинга направленные на производство высокого выхода пропилена -DDC (Deercatalyticcracking, ShawECG, Axens), Maxofin (KBR, ExxonMobil), PetroFCC (UOP), Milos(ShellGS), INDMAX (LummusTech), HS-FCC™ (SaudiAramco, JXNipponOil&Energy (JX), KingFahdUniversityofPetroleumandMinerals (KFUPM)) и др. [11,12]. При этом катализаторные композиции таких процессов обеспечивают вторичный крекинг углеводородов бензиновой фракции (ZSM-5, Maxofin) с образованием легких олефинов.

Отличительными чертами технологии каталитического крекинга высокой

жесткости HS-FCC являются конструктивные и технологические характеристики. В первую очередь, это нисходящее движение сырья и катализатора в реакторе, обеспечивая режим без продольного перемешивания (полное вытеснение). Вследствие этого снижается выход нежелательных побочных продуктов. Кроме того, высокие температуры крекинга, которые составляют более 550 °С и соотношение катализатор/сырье (больше 16), приводят к повышению выхода пропилена и снижению количества сухого газа. Вместе с тем, низкое время контакта сырья и катализатора (меньше 0,5 с), подавляет реакции с участием олефинов, в том числе с перераспределением водорода.

Таким образом, применение конструкций промышленных установок каталитического крекинга и различных катализаторных композиций обеспечивает существенное различие в составах и выходах продуктов крекинга.

1.2 Характеристика катализаторов крекинга

На этапе технологического становления процесса, наряду с модернизацией технологического оборудования, постоянно совершенствовались каталитические композиции, обеспечивающие сегодня высокий выход светлых нефтепродуктов. В катализаторах, которые использовались ранее в качестве матрицы служили природные кислые глины (монтмориллониты и др.) (1935 - 1941 гг.). С 1941 г. природные глины были заменены синтетическими аморфными алюмосиликатами (10 - 25% Al_2O_3 , 75 - 80% SiO_2), индекс активности таких катализаторов составлял 35–38 пунктов [6].

Современные катализаторы являются высокоглиноземными (содержание Al_2O_3 составляет 40 - 45%) и состоят из трех основных частей: широкопористой алюмосиликатной матрицы и активного компонента—цеолита Y в редкоземельной или декатионированной форме с молярным соотношением $SiO_2/Al_2O_3 = 4,6-5$ и низким содержанием остаточного $Na_2O(0,2-0,5\%)$.

Цеолитсодержащие катализаторы характеризуются высокой насыпной плотностью (0,8-0,95 г/см³) и прочностью на истирание, необходимой при

эксплуатации в восходящем потоке, термостойкостью. Удельный объем пор и поверхность разных цеолитсодержащих катализаторов изменяются в таких пределах, как (0,4-0,9 см³/г и 100-260 м²/г). Индекс активности в цеолитсодержащих катализаторах варьируется от 48-52%.

Матрица (или носитель) выполняет важную роль в каталитических системах. Во-первых, обеспечивает сохранение каталитических свойств цеолитов, высокую термостойкость (стабильность катализатора при обработке водяным паром). Во-вторых, придает нужную механическую прочность частичкам катализатора, а также защищает катализатор от влияния каталитически ядовитых веществ при технологических параметрах проведения процесса (отравление тяжелыми металлами) [15]. В среднем диаметр пор кристаллических алюмосиликатов составляет от 8 до 14 нм, что на порядок больше диаметра цеолитов.

В зависимости от состава перерабатываемого сырья, матрица может быть активной или неактивной. Матрица катализатора, помимо подвода компонентов сырья к цеолитам и отвода продуктов крекинга, может быть активной и крекировать углеводороды сырья, что является предпочтительным при вовлечении в сырье каталитического крекинга тяжелых нефтяных фракций. Более того, матрица может быть, как мелкопористой (рис. 1.8, а), так и крупнопористой (рис. 1.8, б) или смешанной, содержащей поры различных размеров. Добиваются этого путем изменения условий осаждения компонентов (температура, скорость ее изменения, pH среды и т.д.).

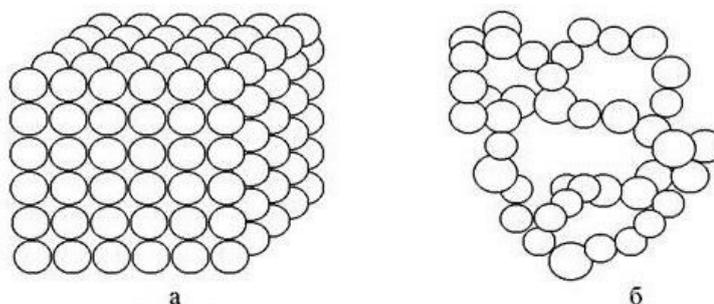


Рисунок 1.8- Мелкопористая (а) и крупнопористая (б) структура матрицы катализатора крекинга

В экспериментальной работе [16] были исследованы превращения индивидуальных углеводородов и их смесей на бицеолитных катализаторах глубокого каталитического крекинга. Исследования показали, что матрицы, содержащие оксид алюминия, были более кислотными, а добавка аморфного алюмосиликата в состав катализатора позволяет регулировать кислотные свойства матрицы благодаря двум типам кислотных центров (центры Бренстеда и Льюиса). При этом компонент матрицы – монтмориллонит, хотя и не имеет сильных кислотных характеристик обладает связующими свойствами, благодаря чему формирует развитую поверхность и ряд физических свойств катализатора.

Экспериментальные работы показали, что для достижения высокой конверсии алканов C16-C28 матрица должна иметь повышенную кислотностью, а наличие в составе катализатора цеолита ZSM-5 снижают скорость реакций перераспределения водорода, что обеспечивает увеличение выхода газов C3-C4 (селективность может достигать 46,0-48,0 %). Кроме того, в том случае, когда матрица в катализаторе была неактивной наблюдались высокие значения селективности образования н-алканов C8-C13, а кислотная матрица способствовала увеличению выхода олефинов C2-C4.

Основными активными компонентами современных катализаторов крекинга являются цеолиты. Они представляют собой водные алюмосиликаты щелочных или щелочно-земельных металлов, т.е. это соли алюмокремниевых кислот [6]. Ранее при каталитическом крекинге в качестве катализатора использовали природные цеолиты: феррьерит $(\text{Na})_2(\text{Si})_{18}\text{O}_{36}(\text{OH}) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, морденит $(\text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, филлипсит $(\text{K}_2\text{Ca})[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$ однако данные виды цеолитов потеряли свое промышленное предназначение в связи с получением синтезированных цеолитов, обладающих более высокой термостойкостью и активностью, по сравнению с природными.

Кристаллическая решетка синтетических цеолитов состоит из кремний-алюмо-кислородных кубооктаэдров, из которых строятся элементарные ячейки разных цеолитов (рисунок 1.9).

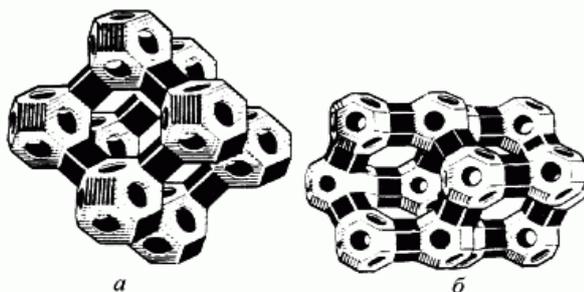


Рисунок 1.9- Структура синтетических цеолитов типа А (а) и Х (б)

На сегодняшний день обширное применение в технологии каталитического крекинга нашли синтетические цеолиты типа Y, X и ZSM-5. Цеолиты типа Y также относятся к типу фожазита, и их структура идентична структуре цеолитов типа X. Однако в элементарной ячейке цеолита типа Y содержится вдвое меньше тетраэдров AlO_4 и катионов по сравнению с цеолитом типа X. Средний размер каналов цеолита Y составляет 0,74 нм, соотношение Si/Al- 1,7 -2,1.

Присутствие цеолита Y с широкопористой структурой в катализаторе обеспечивает первичный крекинг высокомолекулярных углеводородов, а также высокие скорости вторичных реакций переноса водорода при циклизации олефинов, ведущей к образованию циклоалканов, циклоалкенов и ароматических углеводородов и большого количества изопарафинов.

Цеолит типа ZSM-5 состоит из четырех входных окон эллиптической формы диаметром 0,51-0,56 нм. Соотношение Si/Al для цеолита типа ZSM-5 может достигать более 30. Значительная реакционная способность для таких цеолитов и соответствующий размер пор позволяют проводить с их использованием селективный крекинг углеводородов в соответствии с технологией глубокого каталитического крекинга и получать низкомолекулярные олефины.

Состав катализаторов крекинга, а именно соотношение цеолитов, промотеры (щелочно-земельных элементов, переходных металлов, редкоземельных элементов, фосфора и др.) контролирует характеристики пор, структурно-селективные свойства цеолитов, кислотность, влияют на активность катализатора и гидротермальную стабильность и является одним из важнейших

факторов, влияющих на выход продуктов с установки каталитического крекинга [17–19].

Присутствие редкоземельных элементов в катализаторе крекинга обеспечивает повышение термической и каталитической стабильности катализатора (увеличивает активность катализатора и селективность по бензину) [20]. Модификация цеолита HZSM-5 редкоземельными металлами изменяет количество кислотных центров Льюиса и Бренстеда [21], повышая первичные и вторичные реакции крекинга [22].

Наличие фосфора в структуре цеолита препятствует структурным изменениям цеолита, снижает dealюминирование и способствует улучшению гидротермической стабильности, а также увеличивает селективность образования олефинов C3-C4 [23, 24].

Исследования в работе [25] посвящены созданию катализаторов крекинга и добавок к ним с целью увеличения выхода C3-C4 олефинов, снижения концентрации соединений серы в бензине и увеличения дожига CO при регенерации катализатора при совместной работе Института переработки углеводородов (Сибирский филиал Российской академии наук) и ОАО «Газпромнефть-Нефтеперерабатывающий завод». Разработанные биеоцитные катализаторы крекинга, обеспечивают выход C3-C4 олефинов не менее 30 % мас. и позволяют варьировать состав и выход целевых продуктов реакции в широких пределах (исследование на каталитической установке MAT при температуре 527 °C и соотношении катализатор: сырье 0,4 в соответствии с ASTM D 3907 standard.).

Смешанные оксиды алюминия и магния, включая оксиды цинка, цеолиты Y и ZSM-5 предлагаются в качестве добавок к катализатору крекинга, которые приводят к 35%-ному снижению концентрации соединений серы в бензине, поскольку активность катализатора в реакциях переноса водорода является решающим фактором для снижения содержания серы в крекинг-бензине [26, 27]. Показано, что количество добавок на основе оксида марганца, необходимое для

обеспечения остаточной концентрации CO менее 20 ppm, на 20% ниже, чем для добавки, содержащей платину.

В статьях [28, 29] было изучено влияние условий проведения процесса глубоком каталитическом крекинге углеводородных фракций на состав получаемых продуктов на биеоолитном катализаторе и промышленном катализаторе ЛЮКС.

Таким образом, в настоящее время значительное число работ [30,31,32] посвящено разработке новых и совершенствованию существующих катализаторных композиций, оптимизации состава катализаторов крекинга для увеличения выхода продуктов (газы, дизельная фракций, бензины). Вместе с тем, значительное влияние на выход и распределение продуктов процесса оказывают технологический и гидродинамический режим в реакционном аппарате.

1.3 Характеристики технологического процесса каталитического крекинга

Значительное число параметров влияют на производительность установки и показатели процесса крекинга, среди которых состав сырья, время контакта сырья и катализатора, температура, как в лифт-реактора, так и в регенераторе, соотношение катализатор:сырье, парциальное давление компонентов, эксплуатационные характеристики катализатора, а также гидродинамические режимы в лифт-реакторе и регенераторе [3].

Процесс каталитического крекинга можно вести при различных технологических режимах, в зависимости от вида исходного сырья, системы или типа установки, а также свойств катализатора.

Каталитический крекинг практически на установках всех типов протекает при 495 - 545°C и давлении 0,13 - 0,28 МПа (1,3 - 2,8 кгс/см²), а регенерация катализатора – в атмосфере воздуха (в некоторых случаях с добавлением кислорода) или в смеси его с продуктами сгорания при 630–730 °С и 0,13 -0,31 МПа (1,3 - 3,1 кгс/см²).

Температура крекинга

При повышении температуры каталитического крекинга выход бензиновой фракции сначала увеличивается, достигает максимума до определенных температур, а при дальнейшем росте температуры количество бензина снижается. Этот факт связан с глубоким крекингом компонентов бензина, его также называют «перекрекинг» с увеличением газов крекинга. Увеличение температуры способствует повышению скорости вторичных реакций. Это приводит к увеличению содержания ароматических и непредельных углеводородов в газе и бензине и содержанию кокса на катализаторе, который дезактивирует его. Октановое число бензина с повышением температуры увеличивается.

Температура крекинга зависит от состава сырья, температуры регенерированного катализатора и кратности циркуляции катализатора, количества подаваемого тяжелого остатка в лифт-реактор, температуры и расхода сырья.

Вовлечение в переработку остаточных фракций на установки каталитического крекинга может привести к нарушению теплового баланса процесса. Это связано с тем, что увеличение содержания на катализаторе кокса, например, при переработке утяжеленного сырья, содержащего остаточные фракции, способствует увеличению температуры процесса регенерации. В связи с этим требуется существенная корректировка режимов работы реактора, поскольку передача тепла осуществляется за счет контакта сырья с катализатором из регенератора, где происходит экзотермическая реакция окисления кокса, и регулируется изменением соотношения катализатор;сырья (кратности циркуляции катализатора) и температуры сырья. При этом выделяющееся тепло при его окислении в процессе регенерации, с одной стороны, должно быть достаточным для обеспечения требуемого теплового режима реактора, с другой стороны, не вызывать существенную дезактивацию катализатора, не превышать допустимой производительности регенератора и не нарушать тепловой баланс.

Давление в рабочей зоне реактора

Повышение давления снижает выход бензина, газов C1- C3, олефиновых и ароматических углеводородов. В последнее время наметилась тенденция к увеличению давления до 0,21 - 0,28 МПа (2,1 - 2,8 кгс/см²) и соответственно повышению температуры. Одновременное повышение давления и температуры в регенераторе способствуют более полному окислению кокса.

Кратность циркуляции катализатора

На современных установках каталитического крекинга важным параметром, влияющим на выход и качество целевых продуктов является кратность циркуляции катализатора (может быть выражена и в объемных единицах) изменяется в широком диапазоне. Этот параметр технологического режима представляет собой отношение массы циркулирующего катализатора к массе сырья, подаваемого в лифт-реактор. Диапазон изменения кратности циркуляции катализатора составляет обычно 5-10 т регенерированного катализатора на тонну сырья, существуют также технологии каталитического крекинга, работающие на высоких значениях кратности циркуляции катализатора (более 16 и выше). Повышение кратности циркуляции катализатора, иногда его называют соотношением катализатор:сырье способствует увеличению глубины крекинга, и снижению закоксованности катализатора, несмотря на то, что общий выход кокса от сырья возрастает. Это связано с тем, что образующееся количество кокса распределяется на большем объеме катализатора, что повышает среднюю активность на выходе из лифт-реактора.

Объемная скорость подачи сырья

Данный показатель представляет собой отношение объема сырья, подаваемого в реактор в единицу времени, к объему катализатора в зоне крекинга, иногда используют параметр массовой скорости подачи сырья.

Объемную скорость подачи сырья могут определять как для непосредственно сырья подаваемого в лифт-реактор, так и общее значение с учетом рециркулирующего сырья, которое чаще всего представляет газойли каталитического крекинга – легкий или тяжелый газойль. Снижение данного

параметра на промышленной установке приводит к увеличению времени контакта сырья с катализатором и, как следствие, глубины крекинга.

Глубина превращения

Глубиной превращения сырья процесса каталитического крекинга или конверсией (%) называют суммарный выход целевых продуктов процесса (газ и бензин) и кокса. Конверсия выше 80% мас. считается высокой, в пределах 67-77 - средней и менее 67 - низкой. Максимальный выход бензина обычно достигается при конверсии 75-79% мас.

Совершенствование установок каталитического крекинга возможно за счет вовлечения в переработку не только вакуумных газойлей, но и других низкокачественных нефтяных фракций на НПЗ, являющихся потенциальным сырьем каталитического крекинга. Вместе с тем, на поверхности катализаторов протекает множество химических реакций с участием высокомолекулярных углеводородов.

1.4 Физико-химические основы процесса каталитического крекинга и характеристики сырья

Значительное число реакций протекают в результате контакта между нефтяным сырьём и разогретым до 650 - 730 °С катализатором. Распределение продуктов при этом зависит от множества факторов, среди которых и природа и активность кислотных центров на поверхности катализатора. Далее в главе будут рассмотрен химизм процесса каталитического крекинга и роль катализатора в процессе.

Механизм каталитического крекинга нефтяного сырья уже долгие годы является предметом активного обсуждения среди исследователей. Но все сходятся во мнении, что инициирование каталитического крекинга происходит путём образования карбениевых и карбониевых ионов. Последние являются менее стабильными и переходят в карбениевые ионы при дегидрировании или крекинге.

Следующий Рисунок 1.10 демонстрирует возможные пути образования карбениевых и карбониевых ионов в ходе процесса каталитического крекинга:

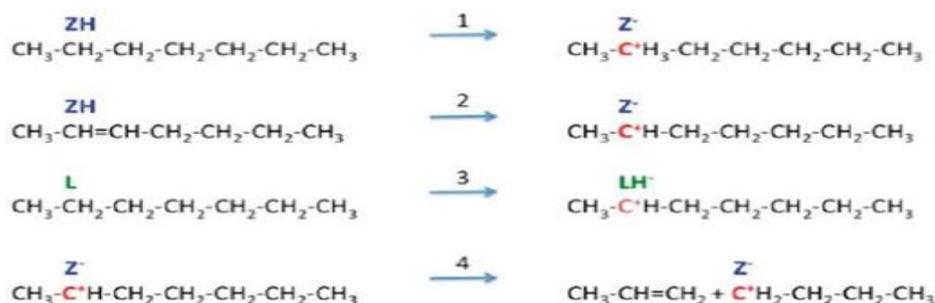


Рисунок 1.10 –Варианты образования карбкатионов

1- отщепление протона с бренстедовского кислотного центра, результирующий в образовании карбониевого иона; 2- формирование карбениевого иона в результате отщепления протона с поверхности цеолита; 3- образование карбениевого иона в результате реакции переноса водорода от алкана к кислотному центру катализатора; 4- бета-разрыв карбениевого иона с образованием нового карбениевого иона олефина

Вопрос о том, какой вид кислотных центров оказывает большее влияние на инициирование реакции каталитического крекинга, льюисовские или бренстедовские активные центры (рисунок 1.11), до сих пор остаётся открытым. Сегодня считается, что оба типа кислотных центров вносят важный вклад в протекание процесса каталитического крекинга нефтяного сырья.

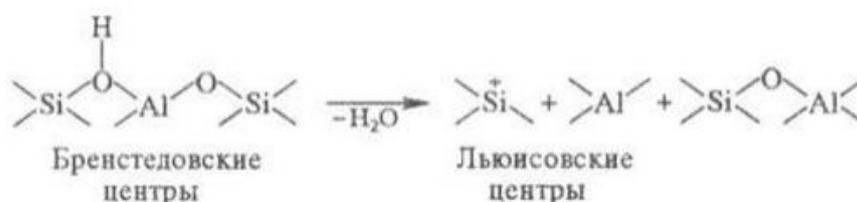


Рисунок 1.11- Структура льюисовских кислотных центров на цеолитных катализаторах

После образования карбениевых и карбониевых ионов могут участвовать в широком спектре различных реакций, перечисленных в Таблица 5, но первостепенными среди них остаются:

- Реакции крекинга C-C-связи;

- Реакции изомеризации;
- Реакции переноса водорода.

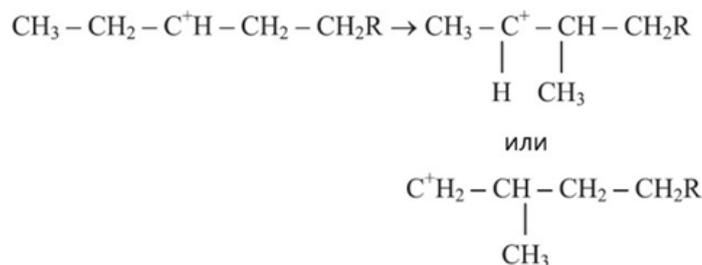
Реакция крекинга или бета-разрыв С-С-связи представляет собой разделение двух атомов углерода в бета-положении по отношению к положительно заряженному атому С.

В результате бета-разрыва образуются олефин и новый карбениевый ион:



Бимолекулярный механизм предусматривает цепную реакцию с участием карбокатионов. Образовавшийся в результате бета-разрыва карбениевый ион запускает цепочку превращений, которая приводит либо к ещё одному бета-разрыву нового карбениевого иона (если это длинноцепочечная молекула), либо карбениевый ион передаёт свой положительный заряд другой, более длинной молекуле, обладающей большей активностью.

В процессе каталитического крекинга карбениевый ион, образовавшийся в результате разрыва бета-связи, часто подвергается реакции изомеризации, которая перегруппировывает ион из первичного или вторичного в третичный, более стабильный:



Протекание реакций изомеризации в процессе каталитического крекинга нефтяного сырья обладает рядом преимуществ:

- так как изопарафины обладают большим октановым числом, по сравнению с молекулами углеводородов, имеющих прямую цепь, то реакция изомеризации оказывает положительное влияние на получаемую бензиновую фракцию, повышая её октановое число, образовавшимися изопарафинами;
- образующиеся изопарафины понижают точку помутнения в получаемой дизельной фракции;

- формирующиеся в результате реакции изомеризации изопарафины C3/C4 являются высокоценным сырьём и используются для получения МТБЭ (метил-трет-бутиловый эфир) и ТАМЭ (метил-трет-амиловый эфир - добавки в топливо, повышающие октановое число и уменьшающие выбросы).

Реакция переноса водорода или реакция переноса гидридного иона – бимолекулярная реакция, в которой доно и акцептор водорода. В реакции могут участвовать как два олефина, так и олефин с нафтенем.

Реакция, в которой участвуют два олефина состоит из следующих стадий:

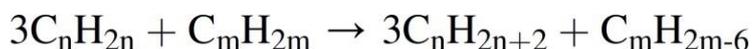
1. Адсорбция молекул олефинов на близко расположенных кислотных центрах.

2. Перенос гидридного иона от одного олефина к другому, в результате которого донор иона превращается в циклоалкен, а акцептор – в алкан.

3. Полученный циклоалкен становится донором гидридного иона для другой молекулы олефина, в результате чего сам превращается в циклодиен и образуется новый алкан.

4. Следующей стадией циклодиен так же, как и в двух предыдущих стадиях, становится донором гидрид-иона для олефина-акцептора, который затем превращается в молекулу алкана, а сам циклоалкен переходит в ароматическое соединение, на чём цепочка превращений обрывается, так как ароматическое соединение является стабильным.

Стехиометрическая реакция между олефином и нафтенем, где нафтен является донором гидридного иона, будет иметь следующий вид:



На катализаторах, в состав которых входят редкоземельные металлы, вероятность протекания реакции переноса водорода значительно повышается, за счёт образования так называемых «мостиков» между двумя или тремя кислотными центрами, на которых в последствии и будут адсорбироваться молекулы олефинов и нафтенев. Из-за образования молекул алканов можно сделать вывод, что протекание реакций переноса водорода повышает выход и стабильность бензиновой фракции из-за образования большого количества

изоалканов, и в то же время увеличивает количество ароматических компонентов в продуктах крекинга, что интенсифицирует образование кокса при протекании дальнейших реакций конденсации.

В зависимости от типа сырья существенно различаются технологические режимы процесса крекинга, поскольку высокомолекулярное сырье со значительным количеством ароматических углеводородов и смол способствует протеканию реакций коксообразования с высокой скоростью, и в области высоких температур может ограничивать конверсию сырья.

Традиционным сырьем установок каталитического крекинга являются атмосферные и вакуумные дистилляты. Наилучшим для каталитического крекинга по выходу целевых продуктов (бензина и сжиженных газов) является сырье с преобладанием парафиновых и циклоалкановых углеводородов.

В связи с увеличением мировой потребности в моторных топливах существенно возрастает необходимость использования в нефтепереработке нетрадиционного тяжелого нефтяного сырья. Сегодня в процесс каталитического крекинга вовлекают различные фракции, такие как вакуумные и атмосферные газойли и мазуты, газойли коксования, висбрекинга, кубовые остатки гидрокрекинга, масло пиролиза шин, отходы пластмасс, а также комбинации перечисленных потоков и их смеси с растительными маслами.

Учитывая широкий спектр низкокачественных нефтяных фракций на НПЗ, являющихся потенциальным сырьем каталитического крекинга – экстракты, гачи, деасфальтизаты, газойли коксования и др., целесообразность их вовлечения должна определяться в зависимости от нефтехимического или топливного варианта каталитического крекинга, а также с учетом аппаратурных особенностей и типа применяемых катализаторов.

4.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Основная цель данного раздела -оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы—будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель выпускной квалификационной работы - исследование промышленного процесса каталитического крекинга при расширении ресурсов сырья.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Для того, чтобы как можно успешнее противостоять соперникам на рынке, необходимо на основе анализа конкурирующих разработок внести соответствующие коррективы в научное исследование. Подобный анализ необходимо проводить систематически, так как рынки находятся в постоянном движении и нужно постоянно подстраиваться под новые условия. Чтобы

грамотно оценить преимущества конкурентных продуктов и собственной разработки необходимо составить оценочную карту, в которой будут наглядно отражены сильные и слабые стороны как конкурентов, так и предлагаемой научной разработки. На данный момент лидирующими компаниями, предлагающими исследования промышленного процесса каталитического крекинга, являются «KBC AdvancedTechnologies» и «AspenTech».

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл.4.1.

Таблица 4.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,10	5	4	3	0,50	0,40	0,30
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,18	5	3	3	0,90	0,54	0,54
3. Надежность	0,05	5	4	3	0,25	0,20	0,15
4. Простота эксплуатации	0,10	5	3	3	0,50	0,30	0,30
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3. Цена	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,40	0,40	0,40
5. Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	2	0,30	0,18	0,12
6. Финансирование научной разработки	0,03	4	5	4	0,12	0,15	0,12
7. Срок выхода на рынок	0,04	5	4	4	0,20	0,16	0,16
8. Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	4	0,24	0,30	0,24
Итого	1				4,84	3,81	3,44

Как можно видеть по представленной оценочной карте, предлагаемая разработка лидирует по таким весовым критериям как «Повышение производительности труда пользователя», «Удобство в эксплуатации», «Качество интеллектуального интерфейса», «Простота эксплуатации» и «Цена».

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT -Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) - представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табл.4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.
С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.
С3. Наличие бюджетного финансирования.	Сл3. Отсутствие инжиниринговой услуги, способной обучить работать в рамках проекта.
Возможности	Угрозы
В1. Использование инновационной инфраструктуры НИ ТПУ.	У1. Появление более эффективных разработок у конкурентов.

Продолжение таблицы 4.2

В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	У2. Развитая конкуренция технологий производства.
В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.	У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции.

Второй этап анализа состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. В соответствии с этим были построены интерактивные матрицы проекта.

Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3–4.6.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

		C1	C2	C3
Возможности проекта	B1	+	+	+
	B2	+	+	0
	B3	+	+	+

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	B1	-	-	+
	B2	-	-	-
	B3	-	-	-

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

		C1	C2	C3
Угрозы проекта	У1	+	+	0
	У2	+	+	0
	У3	0	+	0

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	0	+	-
	У2	-	-	-
	У3	-	-	-

В результате анализа интерактивной матрицы проекта, представленной в таблицах 4.3-4.6, были определены следующие сильные коррелирующие стороны и возможности: В1С1С2С3; В2С1С2 и В3С1С2С4.

Корреляция сильных сторон и угроз: У1С1С2; У2С1С2 и У3С2.

Корреляция слабых сторон проекта и его возможностей: В1Сл3.

Корреляция слабых сторон и угроз: У1Сл2.

Третьим этапом анализа была составлена итоговая матрица SWOT – анализа.

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 - Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С3. Наличие бюджетного финансирования.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.</p> <p>Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p> <p>Сл3. Отсутствие инженеринговой услуги, способной обучить работать в рамках проекта.</p>
--	--	---

Продолжение таблицы 4.7

Возможности	Направления развития	Сдерживающие факторы
<p>V1. Использование инновационной инфраструктуры НИ ТПУ.</p> <p>V2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>V3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>1. Повышение эффективности использования разрабатываемого продукта путём постоянных исследований.</p> <p>2. Выбор грамотной рыночной стратегии по продвижению проектируемого продукта.</p> <p>3. Сохранение доступной для потребителя цены на проектируемый продукт.</p>	<p>Создание инжиниринговой услуги, способной обучить работать в рамках проекта с использованием всей доступной инфраструктуры.</p>
Угрозы	Угрозы развития	Уязвимости
<p>У1. Появление более эффективных разработок у конкурентов.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p>	<p>1. Следование тенденции к снижению стоимости продукта.</p> <p>2. Наиболее эффективное использование инфраструктуры и оборудования, доступных для разработки продукта.</p> <p>3. Анализ цен на продукты конкурентов, результирующий в формирование цены разрабатываемого продукта.</p>	<p>Приобретение наиболее эффективного оборудования для анализа испытываемого образца.</p>

В результате проведения SWOT-анализа установили, что проектируемый продукт обладает рядом достоинств, среди которых основными являются повышенная эффективность, относительно разработок конкурентов, а также низкая цена.

Таким образом, в ходе продвижения продукта на рынке необходимо постоянно совершенствовать предлагаемую разработку путём постоянных вложений в научные исследования, но при этом придерживаться ценовой политики, позволяющей потребителям приобретать продукт по доступной цене. Сохранению относительно низкой цены способствует вовлечение в исследования бюджетных средств.

Слабые же стороны разработки возможно компенсировать только постоянным анализом внешней и внутренней среды, в соответствии с которым и разрабатывать стратегию продвижения продукта на рынке. Сохранение низкой цены на продукт для потребителя является основным, в данном случае, путём зарекомендовать разработку на рынке— низкая цена привлекает потребителя.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
	2	Выбор направления исследования	Инженер, научный руководитель
	3	Календарное планирование работ по теме	Инженер, научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление литературного обзора	Инженер
	5	Составление формализованной схемы превращений	Инженер, научный руководитель
	6	Разработка математической модели	Инженер, научный руководитель
	7	Проведение расчетов с использованием разработанной математической модели	Инженер
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер, научный руководитель
	10	Обсуждение результатов	Инженер, научный руководитель
	11	Оформление пояснительной записки	Инженер
	12	Рецензирование	Научный руководитель
	13	Презентация	Инженер
	14	Защита результатов НИР	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

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

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{\text{к.лнж}i} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни		T_{pi}		T_{ki}	
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
1	2	3	4	5	6	7	8		9	
1. Составление и утверждение технического задания	1	-	5	-	2,6	-	2,6	-	4	-
2. Выбор направления исследования	3	3	5	5	3,8	3,8	3,8	3,8	5	5
3. Календарное планирование работ по теме	1	-	7	-	3,4	-	3,4	-	5	-
4. Составление литературного обзора	-	5	-	15	-	9	-	9	-	13
5. Составление формализованной схемы превращений	7	10	21	30	12,6	18	12,6	18	19	27
6. Разработка математической модели	30	40	50	60	38	48	38	48	56	71

Продолжение таблицы 4.9

7. Проведение расчётов с использованием разработанной математической модели	-	14	-	30	-	20,4	-	20,4	-	30
8. Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	-	10	-	20	-	14	-	14	-	21
9. Оценка эффективности полученных результатов	3	2	7	5	4,6	3,2	4,6	3,2	7	5
10. Обсуждение результатов	3	2	5	5	3,8	3,2	3,8	3,2	6	6
11. Оформление пояснительной записки	-	10	-	18	-	13,2	-	13,2	-	20
12. Рецензирование	6	-	8	-	6,8	-	6,8	-	10	-
13. Презентация	-	4	-	7	-	5,2	-	5,2	-	8
14. Защита результатов НИР	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Итого:							75,6	139	112	207

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ																							
				ноябрь			декабрь			январь			февраль			март			апрель			май			июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Исп1	4	■																							
2	Выбор направления исследования	Исп1 Исп2	5/5	■																							
3	Календарное планирование работ по теме	Исп1	5		■																						
4	Составление литературного обзора ВКР	Исп2	13			■																					
5	Составление формализованной схемы превращений	Исп1 Исп2	19/27						■																		
6	Разработка математической модели	Исп1 Исп2	56/71																								

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов на исследование промышленного процесса каталитического крекинга при расширении ресурсов сырья.

Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на разработку модели

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	310	5	1 550
Бумага А4	1300	2	2 600
Картридж для лазерного принтера	3250	1	3 250
Итого:			7 400

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ПЭВМ - Lenovo. Срок полезного использования ноутбука по паспорту – 6 лет.

Таблица 4.12- Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	6	70	70
Итого		70 тыс. руб.			

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$N_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где n – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{N_A I}{12} \cdot t, \quad (4.6)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

t – время использования, мес.

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	$N_A, \%$	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ПЭВМ	1	6	7,2	0,17	70000	7140
2	ПРИНТЕР	1	3	1,0	0,3	20000	500
3	КСЕРОКС	1	5	1,0	0,2	50000	834
Итого:						8474 руб.	

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и научного руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.9)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя научного руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_o – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб.дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб.дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}. \quad (4.11)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_\delta) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.13)$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} –

премиальный коэффициент, равен 0,3; k_δ – коэффициент доплат и надбавок,

равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	Z_{mc} , руб	k_{np}	k_δ	k_p	Z_m , руб	$Z_{осн}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб
Научный руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	75,6	162335,9
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	139	242290,9
Итого:								404626

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для научного руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 162335,9 = 24350,39$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 242290,9 = 36343,6$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для научного руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб}(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (162335,9 + 24350,39) = 56005,89$$

– для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб}(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (242290,9 + 36343,6) = 83590,35$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
8474	7400	404626	60693	139596	620789

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{np}, \quad (4.18)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости исследование промышленного процесса каталитического крекинга при расширении ресурсов сырья, приведенной в таблице 4.16.

В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	7400	7650	9478	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	8474	31248	40369	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	404626	560236	512368	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	60693	84035,4	76855,2	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	139596	193281,4	176766,9	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	124157,8	175290,2	163167,4	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		744946,8	1051741,0	979004,5	Сумма ст. 1- 6

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.19)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{тек.пр.}}=744946,8\text{руб}$, $\Phi_{\text{исп.}2}=1051741,0\text{руб}$, $\Phi_{\text{исп.}3}=979004,5\text{руб}$.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{744946,8}{1051741,0} = 0,71$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{\text{исп.}2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{1051741,0}{1051741,0} = 1,0$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{979004,5}{1051741,0} = 0,93$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,10	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	5
3. Энергосбережение	0,15	4	4	5
4. Надежность	0,20	5	3	3
5. Воспроизводимость	0,25	5	3	4
6. Материалоёмкость	0,15	5	4	4
ИТОГО	1	4,85	3,80	4,10

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,85$$

$$I_{p2} = 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 3,80$$

$$I_{p3} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 4,1$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}} \quad (4.20)$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,71	1	0,93
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	3,80	4,10
3	Интегральный показатель эффективности	6,83	3,80	4,41
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,56	0,65

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 207 дней.

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 744946,8руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,71, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,85, по сравнению с 3,80 и 4,10;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 6,83, по сравнению с 3,80 и 4,41, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Рабочее место трудящегося должно соответствовать всем представленным в нормативных документах стандартам, то есть быть максимально безопасным для работника и сводить действия различных вредоносных факторов, оказывающих воздействие на здоровье человека, к минимуму.

Выпускная квалификационная работа выполнялась на персональном компьютере в учебном классе размером 10*15м. Учебный класс находится во 2 корпусе ФГАОУ ВО"НИ ТПУ". Он оснащен персональным компьютером, принтером, рабочим столом и стулом. В аудитории проведена система отопления, кондиционирования воздуха, а также естественным и искусственным освещением. Рабочее место - стационарное.

В ходе осуществления работы были использованы разного рода специализированные компьютерные программы, которыми обеспечено отделение химической инженерии. Областью применения является нефтегазовая промышленность. Объектом исследования в данном случае выступал процесс каталитического крекинга нефтяного сырья.

Целью же данной работы являлось исследование промышленного процесса каталитического крекинга при расширении ресурсов сырья.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основная работа над проектом проводилась за персональным компьютером, поэтому правовые нормы и рекомендации, предусмотренные законодательством, будут изложены в разделах, посвящённых рабочим местам, где работа проводится сидя.

Основными документами, регламентирующими правила работы сидя за компьютером, являются соответствующие пункты трудового кодекса РФ, СП 2.2.3670-20, ТОО Р-45-048-97, ГОСТ 12.2.032-78.

Соблюдение предписаний, указанных в нормативных документах, перечисленных в предыдущем абзаце, является обязательным, так как игнорирование специфики условий, в которых проводятся работы (работа с персональным компьютером), может привести к ухудшению здоровья сотрудников: частые головные боли, потеря аппетита, болевые ощущения в области шеи и поясницы и т. д.

Часто ухудшения состояния работника при работе с компьютером связаны с недостаточной, а то и вовсе отсутствующей, эргономикой рабочего пространства, то есть всего того, что связано с организацией рабочего места сотрудника. Данные показатели регламентируются СП 2.2.3670-20 и ГОСТ 12.2.032-78, анализ выполнения которых при работе над данным проектом представлен в таблице 5.1:

Таблица 5.1- Выполнение требований к организации рабочего места при работе с ПЭВМ

Требование	Требуемое значение	Значение параметров в рабочем помещении
Высота рабочей поверхности	725 мм, если высота нерегулируемая	Требование выполняется
Высота сидения	430 мм	Аудитория оснащена компьютерными подъёмно-поворотными креслами с регулирующейся высотой, поэтому требование выполняется
Подставка для ног	Регулируемая высота	Подставка для ног отсутствует. Требование не выполняется
Расположение средств зрительной информации (видеомонитор)	Под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и на расстояние 600–700 мм	Требования соблюдены

Продолжение таблицы 5.1

Расстояние между рабочими столами с видеомониторами	Не менее 2,0 м	Не соблюдается
Расположение клавиатуры	100–300 мм от края, обращённого к пользователю	Соблюдается

Помимо эргономики крайне важное положение занимает организация режима работы: для обеспечения оптимальной работоспособности на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы через 2 часа от начала рабочей смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый при 8-часовой рабочей смене согласно ГОИ Р-45-048-97.

Таким образом, все требования, касающиеся организации рабочего места и режима работы, представленные в нормативных документах, были соблюдены.

5.2 Производственная безопасность

Возможные опасные и вредные факторы, согласно ГОСТ 12.0.003-2015, связанные с работой на персональном компьютере (ПЭВМ), приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте производителя работ

Факторы по ГОСТ 12.0.003-2015	Нормативные документы
1. Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения	СП 52.13330.2016. Свод правил. Естественное и искусственное освещение [31].

Продолжение таблицы 5.2

<p>2.Микроклимат (температура, относительная влажность воздуха и скорость движения воздуха)</p>	<p>ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны" (утв. и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 29.09.1988 N 3388) (ред. от 20.06.2000) Утвержден[30].</p>
<p>3. Напряженность труда</p>	<p>Главный государственный санитарный врач Российской Федерации. Постановление от 2 декабря 2020 года N40. Об утверждении санитарных правил СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда"[29].</p>
<p>4. Монотонность труда</p>	<p>Главный государственный санитарный врач Российской Федерации. Постановление от 2 декабря 2020 года N40. Об утверждении санитарных правил СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда"[32].</p>
<p>5. Поражение электрическим током</p>	<p>ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов[33].</p>

Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения. Отсутствие или недостаток освещённости способны пагубно сказаться на работе зрительного аппарата трудящегося и повлиять на его самочувствие и трудоспособность, например, привести к головным болям.

Согласно СП 52.13330.2016. эксплуатировать ПЭВМ в помещениях, в которых отсутствует естественное освещение, возможно только при наличии соответствующих расчётов, обосновывающих соответствие нормам освещения и безопасность их деятельности для здоровья работников. В противном же случае, естественное и искусственное освещение должно соответствовать действующей нормативной документации, то есть СП 52.13330.2016.

При этом окна помещения, где эксплуатируется вычислительное оборудование (учебная аудитория) должны быть преимущественно ориентированы на север и северо-восток. Оконные проёмы же должны быть оснащены регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и т. д.

Для искусственного освещения нормируется параметр - освещённость. Основные нормируемые показатели по СП 52.13330.2016 представлены в таблице 5.3:

Таблица 5.3 – Нормируемые показатели освещённости

Показатель	Значение
Освещённость на поверхности стола	300–500 лк
Освещённость поверхности экрана	не более 300 лк
Яркость светящихся поверхностей, находящихся в поле зрения	не более 200 кд/м ²
Яркость бликов на экране ПЭВМ	не более 40 кд/м ²
Яркость потолка	не более 200 кд/м ²
Яркость светильников в зоне углов излучения от 50 до 90°	не более 200 кд/м ²
Коэффициент запаса (K _з) для осветительных установок общего освещения	1,4
Коэффициент пульсации	не более 5 %

Условия труда по световому фактору в рабочем помещении (учебной аудитории) соответствуют допустимым.

Микроклимат (температура, относительная влажность воздуха и скорость движения воздуха). В перечень регулируемых метеорологических факторов, оказывающих влияние на человека и его работоспособность, относятся: температура, относительная влажность воздуха и скорость движения воздуха.

Оптимальные значения показателей микроклимата, регламентируемые ГОСТ 12.1.005-88, представлены в таблице 5.4[30].

Таблица 5.4 - Оптимальные характеристики микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22–24	21–25	60–40	0,1
	Iб (140–174)	21–23	20–24	60–40	0,1
Тёплый	Ia (до 139)	23–25	22–26	60–40	0,1
	Iб (140–174)	22–24	21–25	60–40	0,1

Указанные выше условия при категории работ Ia - работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением категории работ Iб– работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением возможно осуществить применением систем вентиляции, кондиционирования и обогрева помещения[31].

Условия труда по микроклимату соответствуют допустимым.

Напряженность труда. Монитор персонального компьютера является источником постоянного излучения, которое имеет вредоносное влияние на

зрительную функцию трудящегося. Для снижения вреда для работника от данного фактора СП 2.2.3670-20 предусмотрены допустимые параметры экрана, которые отражены в таблице 5.

Таблица 5.5- Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

Параметр	Допустимое значение
Яркость белого поля	не менее 35 кд/м ²
Неравномерность яркости рабочего поля	не более 20 %
Контрастность (для монохромного режима)	3:1
Пространственная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение положения фрагментов изображения экрана)	не более $2 \cdot 10L - 4L$, где L – расстояние наблюдения

Также для минимизации перегрузки зрительного аппарата необходимо учитывать нормы освещённости и расположения персонального компьютера.

Источниками нервно-психических нагрузок при работе на персональном компьютере могут быть любые факторы: несоблюдение норм микроклимата, монотонность труда, умственное перенапряжение, связанное с высокой информационной нагрузкой и т. д.

Для предупреждения перечисленных факторов СП 2.2.3670-20 устанавливает обязательные перерывы при работе, которые входят в общее рабочее время: при продолжительности рабочего дня 8 часов сумма времени на перерывы составляет от 50 минут, если же рабочее время составляет более 12 часов, то время, отведённое на перерывы, – от 80 до 140 минут. [32]

Монотонность труда. Монотонность труда – однообразие трудовых операций или производственной обстановки, т. е. внешние, объективные факторы трудовой деятельности.

Монотонная работа приводит к изменению и со стороны различных вегетативных функций. Во время такой работы снижается частота сердечных сокращений на 25 –30%, увеличивается коэффициент вариации сердечного ритма, т. е. монотонная работа приводит к существенному снижению тонической активности симпатической нервной системы и повышению активности парасимпатической нервной системы.

Основными отрицательными последствиями монотонного труда являются:

- снижение работоспособности и производительности труда;
- ухудшение функционального состояния организма работающих;
- повышенная заболеваемость;
- снижение творческой инициативы;
- производственный травматизм.

Необходимо разрабатывать мероприятия, направленные на уменьшение отрицательных последствий монотонного труда. К ним относятся:

- автоматизация однообразного ручного труда;
- оптимизация содержания труда, темпа и ритма работы;
- совмещение профессий и чередование операций;
- внедрение рациональных режимов труда и отдыха с введением 5-минутных регламентированных перерывов через каждый час работы с целью снятия фактора монотонии;
- введение в режим рабочего дня комплексов производственной гимнастики, функциональной музыки и др.

Поражение электрическим током. Аудитория, согласно ПУЭ (правила устройства электроустановок), относится к классу без повышенной опасности.

Источниками электрической опасности в данном случае могут быть:

- оголённые части проводов, находящихся под напряжением
- отсутствие заземления;
- электростатическое напряжение.

Меры, способные свести к минимуму вероятность поражения работника электрическим током:

1. Защитное заземление;
2. Изоляция, ограждение и обеспечение недоступности токоведущих частей;
3. Применение малого напряжения и двойной изоляции;
4. Использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
5. Устройства защитных отключений питания.

Условия труда в аудитории по электробезопасности соответствуют всем требованиям.[33]

5.3 Экологическая безопасность

Защита селитебной зоны. Выброшенная электроника представляет опасность для здоровья людей и животных, для состояния окружающей среды. Основной документ, детально регламентирующий обращение с электронным мусором в России – ГОСТ Р 55102-2012[37].

ИТС 15-2016[12]предусматривает 2 технологии утилизации и обезвреживания отходов электрического оборудования (ОЭО):

- разборка с извлечением компонентов с ресурсной ценностью, и передача организациям на вторичную переработку;
- измельчение неразобранных устройств с дальнейшей сортировкой лома и получением полиметаллического концентрата.

Несмотря на то, что утилизация высокотехнологичного лома входит в число обязательств, принятых Россией при участии в Монреальском протоколе по охране озонового слоя, вступившем в силу в 1989 году, комплексной системы сбора и утилизации отходов электрического оборудования в масштабе РФ пока не существует.

Защита атмосферы. Если электрическое оборудование (ЭО) больше не может использоваться повторно, то применяется иной способ утилизации, при котором сжигание – самый непереподчитительный метод, но часто используемый.

При сжигании главная экологическая проблема это – выделение токсичных веществ в атмосферу.

Частично решить проблему в РФ способны производители гаджетов. Чтобы устаревшая техника не выбрасывалась с бытовым мусором, компании могут принимать неактуальные устройства по трейд-ин, давать скидки на покупку новых.

Крупные сети по продажам техники периодически проводят акции по замене старых устройств на новые, собирая значительные объемы ЭО. Производители таких товаров в подобных акциях не участвуют, компаниям это невыгодно. Выпуская новинки, они не ориентированы на использование сырья из высокотехнологичного мусора, не предусматривают удобный демонтаж изделия.

Защита гидросферы. Производственные сточные воды в основном загрязнены отходами и выбросами в процессе неправильной утилизации. Количественный и качественный состав таких стоков разнообразен и зависит от вычислительной техники, которую утилизировали. В составе этих стоков присутствуют неорганические кислоты, ионы тяжелых металлов, ПАВ, масла, красители, смолы и другие вещества. Должны соблюдаться требования нормативных актов, регулирующих отношения в области охраны водных ресурсов.

Защита литосферы. Сейчас в России доля извлекаемых из электронного лома вторичных ресурсов невелика. И это главная проблема – утилизация электронного лома вместе с другими отходами, такими как бытовые отходы, пластик, все это либо направляется на захоронение или в мусоросжигательные печи, что вредит нашей земле. При захоронении ЭО, это оборудование

постепенно разлагается и все вредные вещества попадают в поверхностный грунт.

В регулировании сферы ЭО России следует учитывать зарубежную практику Японии, стран Евросоюза. Согласно мировому опыту, рациональная утилизация ЭО и их компонентов состоит из 3 этапов:

- предварительная разборка, сортировка;
- глубокая переработка – с извлечением полезных фракций;
- термическое уничтожение сгораемых фракций – с получением энергии.[38]

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией при работе с персональным компьютером является возникновение пожара. Пожары в офисных помещениях с ПК представляют особую опасность, так как сопряжены с большими материальными потерями.

Горючими компонентами в аудитории могут выступать строительные материалы, изоляции кабелей, двери, перегородки и т. д.

Источником зажигания могут выступить различные приборы, применяемые в целях технического обслуживания, электрические схемы ПЭВМ, устройства кондиционирования воздуха и электропитания, где в результате каких-либо нарушений возникают перегретые элементы, дуги и электрические искры, которые могут вызвать возгорания горючих материалов.

Учитывая всё вышесказанное, аудитория, оснащённая персональными компьютерами, относится к категории пожароопасных «В».

Так как в помещениях, оснащённых электрическими приборами, недопустимо использование воды и пены ввиду опасности повреждения или полного выхода из строя дорогостоящего электронного оборудования, то аудитория должна быть оснащена исправными углекислотными (ОУ-3 – 1 шт.) и порошковыми огнетушителями (ОП-3 – 1 шт.). Документом, регулирующим

положения, касающиеся пожарной безопасности рабочего помещения, выступает ГОСТ 12.4.009-83.

Рабочее помещение также должно быть оборудовано пожарными извещателями, которые в случае возникновения пожара, могут оповестить работников о его появлении. В качестве извещателей могут быть использованы дымовые и фотоэлектрические извещатели, характеризующиеся высокой скоростью и надёжностью срабатывания.[36]

Вывод по разделу

В данном разделе ВКР в данном разделе рассмотрели опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте.

В разделе проработана нормативная база основанная, на материалах по охране труда и окружающей среды, а также безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Фактические значения соответствует нормативным требованиям согласно:

Категория помещения по электробезопасности согласно ПУЭ имеет 1 группу;

1 группа по электробезопасности(неэлектротехнический персонал) согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок;

№ 426 - ФЗ "О специальной оценке условий труда", условия труда в учебном помещении (1 класс) по СанПиН 1.2.3685-21;

СОУТ категория помещения (учебного помещения) по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории «В»;

постановлению «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий (с изменениями на 7 октября 2021 года)» согласно разделу 2 п.17 относится к объектам II категории оказывающих умеренное негативное воздействие на окружающую среду.

Проанализировав данные можно сделать вывод, что рабочее место соответствует всем требованиям, представленным в нормативных документах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Литературный обзор показал, что технологическое оформление процесса каталитического крекинга, используемые катализаторы определяются типом перерабатываемого сырья на установках каталитического крекинга. С использованием разработанной математической модели выполнены прогнозные расчеты по влиянию состава сырья при вовлечении в переработку вакуумного газойля легкого газойля коксования (ВГ+ЛГ) и остатков масляного производства (ВГ+ОС: 20 % экстракта и 4 % гачей) и основных параметров технологического режима на выход продуктов целевых продуктов, кокса и октановое число бензина.

Прогнозные расчеты показали, что выход бензина проходит через экстремум для всех типов сырья, при этом температуры достижения максимального выхода бензина существенно различаются в зависимости от типа сырья. Этот факт может быть объяснен их углеводородным составом и более высокими скоростями реакций вторичного крекинга с образованием газовых компонентов при переработке ВГ+ЛГ и интенсивным коксообразованием при переработке (ВГ+ОС).

Показано, что при оптимизации температурного режима важно учитывать состав и склонность сырья к образованию кокса. Вследствие интенсивного образования кокса (более 1 % на катализаторе) для сырья, содержащего 24 % остатков масляного производства и характеризующегося содержанием смол равным 7,2 % не обеспечивает организацию топливного и нефтехимического режимов. Прогнозные расчеты показали, что снижение расхода шлама в лифт реактор на 19 м³/ч и снижение доли остаточного сырья в смеси до 11 % позволяют достичь топливный режим на установке каталитического крекинга при переработке ВГ+ОС.

С учетом корректировки расхода шлама и доли остаточного сырья при переработке ВГ+ОС, топливные режимы (выход бензина 55,5, 56,2 и 53,3 %

мас. для Сырья №1-3 соответственно) достигаются при 536, 534,0 и 537,2 °С. Октановое число бензина изменяется в интервале 91,8–92,8 п.

Нефтехимические режимы достигаются при температурах крекинга 536-540 и 535-545 °С при переработке ВГ и ВГ+ЛГ. Для ВГ выходы ППФ и ББФ составили 8,12–9,29 (261,6–299,24 т/сут) и 15,7–17,1 мас.% (505,2–550,8 т/сут) соответственно. Наибольший выход легких олефинов при переработке ВГ+ЛГ, выходы ППФ и ББФ составляют 8,8–11,5 и 16,0–20,8 % мас., что соответствует 283,5–370,4 и 528,3–669,9 т/сут, что связано с присутствием легкого газойля в составе сырья крекинга. Полученные результаты будут использованы при выполнении оптимизационных расчетов по догрузке установок каталитического крекинга за счет расширения ресурсов сырья.

Список использованных источников

1. Капустин В.М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти. Часть вторая. Деструктивные процессы. – М.: Колос, 2008 - 334с.;
2. Хаджиев С.Н. Крекинг нефтяных фракций на цеолитсодержащих катализаторах. – М.: Химия, 1982. – 280 с.;
3. Doronin V.P, Lipin P.V. and Sorokina T.P. Catalysis in Industry.4 (2), 100–104 (2012).;
4. Потехин В.М., Потехин В.В. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки: Учебник. – 3-е изд., испр. И доп. – СПб.:Издательство «Лань», 2014. с. 896.;
5. Murcia A. A. Numerous Changes Mark FCC Technology Advance. OilGasJ. – 1992. – 90. – P. 68.;
6. Капустин В. М., Рудин М.Г. Химия и технология переработки нефти.-М.: Химия, 2013.-496с.;
7. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Ч.1. – С.-Пб.: АНО НПО «Мир и семья», АНО НПО «Профессионал». 2002. с. 988.;
8. Доронин В.П., Сорокина Т.П., Липин П.В., Потапенко О.В., Короткова Н.В., Горденко В.И. Разработка и внедрение цеолитсодержащих катализаторов крекинга с контролируемым содержанием редкоземельных элементов // Катализ в промышленности. - 2014.;
9. Р. Задегбейджи. Каталитический крекинг в псевдоожигенном слое катализатора. Справочник по эксплуатации, проектированию и оптимизации установок ККФ: пер. с англ. яз. 3-го изд; под ред. О.Ф. Глаголевой. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. – 384 с.;
10. Мейерс Р. А. Основные процессы нефтепереработки. Справочник: пер. с англ. 3-го изд. / [Р. А. Мейерс и др.]; под ред. О. Ф. Глаголевой, О. П. Лыкова. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2012. – 944 с.;
11. Pat. US 6905591 B2.Deep catalytic cracking process / Warren S. Letsch, 2005.;

12. Lu, Hanwei. // Exploration on FCC technologies for more propylene. 2000. Vol. 30, № 11. - P. 14.;
13. ПерриДж.Г. Справочник инженера-химика. Том 1. (ChemicalEngineers' Handbook, 1963) Перевод с четвертого английского издания под общей редакцией Н.М. Жаворонкова и П.Г. Романкова. (Ленинград: Издательство «Химия». Ленинградское отделение, 1969);
14. Дж. Рабо. Химия цеолитов и катализ на цеолитах. Перевод с англ. М.: Мир, 1980. Том1. - 506 стр.;
15. Потехин В.М., Потехин В.В. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки: Учебник.-3-е изд., испр. и доп.- СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 896с.;
16. Линии П.В.. Доронин В.П., Гуляева Т.И. Влияние состава матрицы бицеолитного катализатора на состав продуктов глубокого каталитического крекинга. – М: Химия, 2008. – 4с.;
17. K. Wakui, K. Satoh, G. Sawada, K. Shiozawa, K. Matano, K. Suzuki, T. Hayakawa, Y. Yoshimura, K. Murata, F. Mizukami. // Dehydrogenative Cracking of n-Butane over Modified HZSM-5 Catalysts. 2002. Vol. 81, № 1. - P. 83–88.;
18. Y. Sun, T.C. Brown, Int. J. Chem. //Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. 2002. – P. 467–480.;
- A. Corma, Catal. Lett. // Transformation of hydrocarbons on zeolite catalysts. 1993. Vol. 22, № 1. - P. 33–52.;
19. Steam Cracking For Olefins Production [Электронныйресурс] / Режимдоступа: <https://www.ihs.com/products/chemical-technology-pep-steam-cracking-for-olefins-2003.html>, свободный. – Загл. сэкрана;
20. X. Wang, Z. Zhao, C. Xu, A. Duan, L. Zhang, G. Jiang, J. Rare Earths. // Olefins production from LPG via dehydrogenative cracking over three ZSM-5 catalyst. 20013. Vol. 72, № 1. - P. 760-766.;
21. Effects of Rare Earth Oxides in FCC Catalysts [Электронныйресурс] / Режимдоступа: http://www.refiningonline.com/engelhardkb/crep/TCR4_23.htm, свободный. - Загл. сэкрана;

22. T.F. Degnan, G.K. Chitnis, P.H. Schipper. // History of ZSM-5 fluid catalytic cracking additive development. 2000. –P. 245–252.;
23. D. Liu, W.C. Choi, C.W. Lee, N.Y. Kang, Y.J. Lee, C.-H. Shin, Y.K. Park. // Steaming and washing effect of P/HZSM-5 in catalytic cracking of naphtha. 20011. Vol. 164, № 1. - P. 154–157.;
24. Агафонов А.В., Абаева Б.Т., Окиншевич Н.А. Новости нефтяной и газовой техники // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2014. – № 1. – С. 18-21.
25. Хаджиев С.Н. Перспективные технологии для нефтепереработки и нефтехимии / С.Н. Хаджиев, В.М. Капустин, А.Л. Максимов, Е.А. Чернышева, Х.М. Кадиев, И.М. Герзелиев, Н.В. Колесниченко // Экологический вестник России. – 2014. – № 9. – С. 26-33.
26. Palos R., Rodríguez E., Gutiérrez A., Bilbao J., Arandes J. (2022) Kinetic modeling for the catalytic cracking of tires pyrolysis oil, Fuel, 309, 122055.
27. Zhang Y., Liu M., Zhao L., Liu S., Gao J., Xu C., Ma M., Meng Q. (2021) Modeling, simulation, and optimization for producing ultra-low sulfur and high-octane number gasoline by separation and conversion of fluid catalytic cracking naphtha, Fuel, 299, 120740.
28. Назарова Г.Ю. Повышение эффективности процесса каталитического крекинга вакуумного дистиллята в лифт-реакторе с применением метода математического моделирования: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 02.00.13 / Назарова Галина Юрьевна. – Томск, 2020. – с. 22-23
29. 1.Главный государственный санитарный врач Российской Федерации. Постановление от 2 декабря 2020 года N40. Об утверждении санитарных правил СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда."
30. 2. ТОИ Р-45-048-97. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональных электронно – вычислительных машинах;
Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022);

ГОСТ 12.2.032-78 Группа Т58. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;

31. 5.СП 52.13330.2016. Свод правил. Естественное и искусственное освещение;

32. ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны" (утв. и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 29.09.1988 N 3388) (ред. от 20.06.2000)

33. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

34. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности;

35. РД 24.200.11-90 Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Правила и нормы безопасности при проведении гидравлических испытаний на прочность и герметичность;

36. ГОСТ Р 22.0.01-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях;

37. ГОСТ Р 55102-2012 Обращение с отходами;

38. ИТС 15-2016 Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)).