

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: Химическая технология природных энергоносителей

ООП: Химическая технология

Отделение школы (НОЦ): Технология подготовки и переработки нефти и газа

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Прогнозирование содержания серы в продуктах каталитического крекинга нефтяного сырья

УДК: 546.22:665.644.2

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д8Б	Лобода Константин Сергеевич		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООТД	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кузьменко Елена Анатольевна	К.Т.Н.		

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

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

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

ДПК(У)-3	Готов использовать знания фундаментальных физико-химических закономерностей для решения возникающих научно-исследовательских задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе, химических реакторов
ДПК(У)-4	Готов использовать информационные технологии при разработке проектов
ДПК(У)-5	Готов изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования на английском языке

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

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки (ООП): Химическая технология

Отделение школы (НОЦ): Технология подготовки и переработки нефти и газа

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Кузьменко Е.А.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-2Д8Б	Лобода Константин Сергеевич

Тема работы:

Прогнозирование содержания серы в продуктах каталитического крекинга нефтяного сырья
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	31-66/с от 31.01.2023
---	-----------------------

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	01.06.23
--	----------

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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – процесс каталитического крекинга гидроочищенного нефтяного сырья. Производительность установки по сырью составляет 2,4 млн т/год</p> <p>Технологический режим реализован в восходящем потоке микросферического катализатора крекинга. Режим работы – непрерывный.</p> <p>Сырье процесса – гидроочищенный вакуумный дистиллят (фракционный состав – 350-540+ °С.). Продуктами установки являются жирный газ, бензиновая фракция, легкий, тяжелый газойль.</p> <p>Исходные данные – геометрические размеры лифт-реактора, технологический режим работы реактора и регенератора, образцы сырья и продуктов процесса.</p>
--	--

<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор по технологиям каталитического крекинга гидроочищенного и негидроочищенного нефтяного сырья, катализаторам, химизм и распределение сернистых соединений в продуктах каталитического крекинга</p> <p>Экспериментальная часть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - характеристика объекта исследования (материальный баланс, описание технологической схемы); - мониторинг работы промышленной установки каталитического крекинга; - выполнение экспериментальных исследований по определению состав и физико-химических свойств сырья и продуктов процесса; - адаптация математической модели процесса каталитического крекинга с учетом превращений углеводородов и сернистых соединений; - верификация модели; - прогнозные расчеты по влиянию состава сырья на выход продуктов и распределение сернистых соединений в продуктах крекинга. Анализ полученных результатов, выводы и рекомендации.
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Принципиальная схема технологического объекта, технологические регламенты установки</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна, к.э.н., доцент ОСГН</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Андрей Александрович, к.т.н., Доцент ООТД</p>

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

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>доцент</p>	<p>Назарова Галина Юрьевна</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>02.02.2023</p>

Задание принял к исполнению обучающийся:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>3-2Д8Б</p>	<p>Лобода Константин Сергеевич</p>		

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 (ООП): Химическая технология

Уровень образования: Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ): Технология подготовки и переработки нефти и газа

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2022 /2023 учебного года)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-2Д8Б	Лобода Константин Сергеевич

Тема работы:

Прогнозирование содержания серы в продуктах каталитического крекинга нефтяного сырья
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	01.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.05.2023	Аналитический обзор по технологиям каталитического крекинга, химизм и распределение сернистых соединений в продуктах каталитического крекинга	20
07.05.2023	Характеристика объекта исследования (материальный баланс, описание технологической схемы), характеристики сырья и технологического режима. Мониторинг работы промышленной установки каталитического крекинга.	20
15.05.2023	Адаптация математической модели процесса каталитического крекинга с учетом превращений сернистых соединений. Верификация модели;	20
25.05.2023	Прогнозные расчеты по влиянию состава сырья на выход продуктов и распределение сернистых соединений в продуктах крекинга.	20
30.05.2023	Разделы «Финансовый менеджмент» и «Социальная ответственность». Анализ полученных результатов, выводы и рекомендации	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Назарова Галина Юрьевна	к. т. н.		02.02.2023

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д8Б	Лобода Константин Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная бакалаврская работа содержит 102 страницы, 21 рисунок, 25 таблиц, 32 литературных источника, 1 приложение.

Объектом исследования является процесс каталитического крекинга нефтяного сырья.

Целью работы является прогнозирование содержания серы в продуктах каталитического крекинга при переработке гидроочищенного и негидроочищенного нефтяного сырья.

Ключевые слова: каталитический крекинг, гидроочистка, сера, сераорганические соединения, математическая модель.

В процессе исследования выполнен мониторинг работы промышленной установки каталитического крекинга, экспериментальные работы по установлению состава гидроочищенного и негидроочищенного сырья каталитического крекинга, а также распределения серы в сырье и продуктах процесса. Полученные результаты использованы при адаптации математической модели к промышленной установке, с применением которой проведены прогнозные расчеты по влиянию состава и содержания серы в сырье каталитического крекинга на показатели процесса и содержание серы в продуктах. Установлены закономерности изменения содержания серы в продуктах процесса в зависимости от состава и свойств нефтяного сырья

Область применения: на нефтеперерабатывающих заводах, где реализован процесс каталитического крекинга.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

КК – каталитический крекинг

ГО – гидроочистка

РРБ – реакторно-регенераторный блок

ППф – пропан-пропиленовая фракция

ББф – бутан-бутиленовая фракция

БКК – бензин каталитического крекинга

БФ – бензиновая фракция

ГФУ – газофракционирующая установка

АВТ – атмосферно-вакуумная трубчатка

КТ – комплекс топлив

УВ – углеводороды

ФС – фракционный состав

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
- ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы».
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
- СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».
- СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

- ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
- ГОСТ 17.0.0.02-79. Метрологическое обеспечение контроля загрязненности атмосферы, поверхностных вод и почвы.
- ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
- Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.0.230-2007 «Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда. Общие требования. ILO-OSH 2001».

Содержание

Введение	13
1 Литературный обзор	
1.1 Современное состояние и развитие технологий каталитического крекинга нефтяного сырья	16
1.1.1 Технологии каталитического крекинга нефтяного сырья	17
1.2 Основные факторы, влияющие на процесс каталитического крекинга	22
1.2.1 Состав и свойства катализаторов крекинга.....	24
1.2.2 Влияние состава сырья на показатели процесса каталитического крекинга	31
1.3 Распределение сернистых соединений в продуктах каталитического крекинга	33
1.4 Химические превращения сернистых соединений в процессе каталитического крекинга	36
2 Объект и методы исследования	39
2.1 Характеристика объекта исследования	39
2.2 Методы исследования	42
3 Адаптация математической модели процесса каталитического крекинга к промышленной установке.....	46
3.1 Мониторинг работы промышленной установки каталитического крекинга	46
3.2 Материальный баланс установки каталитического крекинга гидроочищенного вакуумного газойля	49
3.3 Экспериментальное исследование состава гидроочищенного вакуумного газойля и негидроочищенного смесового сырья процесса каталитического крекинга	50
3.4 Математическая модель процесса каталитического крекинга.....	52

3.5 Адаптация и верификация математической модели процесса каталитического крекинга	54
3.6 Прогнозные расчеты по влиянию состава сырья и содержанию серы на распределение сернистых соединений в продуктах процесса модели.....	57
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	61
5 Социальная ответственность	85
Заключение	95
Список литературных источников	97
Приложение А	101

Введение

Согласно Техническому регламенту Таможенного союза к моторным топливам предъявляют строгие экологические требования, связанные с ограничением содержания сернистых соединений в товарном бензине. Одним из процессов глубокой переработки нефтяного сырья в компоненты моторных топлив является технология каталитического крекинга. Потребность в производстве товарного бензина ежегодно растет, вместе с тем на НПЗ существуют технологии переработки высокомолекулярного нефтяного сырья в компоненты моторного топлива, что способствует увеличению глубины переработки нефти на НПЗ.

Каталитический крекинг – процесс каталитического деструктивного превращения тяжелых нефтяных фракций в компоненты моторных топлив и сырья для нефтехимии.

Вместе с тем, содержание сернистых соединений в моторных топливах определяется технологическими условиями, как в реакторах каталитического крекинга, так и в процессах гидроочистки. В зависимости от режимов работы содержание серы в сырье процесса каталитического крекинга может изменяться, соответственно варьируется содержание сернистых соединений в продуктах процесса. Кроме того, содержание серы в сырье крекинга может изменяться вследствие дефицита водорода на НПЗ остановки или нарушения технологического режима, а также избытка смесового негидроочищенного потока.

Увеличение содержания серы в сырье крекинга, вызывает рост содержания серы в продуктах, ограничивая тем самым долю бензина крекинга в товарном продукте [1]. Соединения серы в бензинах способствуют увеличению выбросов оксидов серы в газообразных продуктах сгорания, производимых автомобильными двигателями. Аналогичные ограничения вызваны высокими требованиями экологической безопасности к производимым компонентам моторных топлив.

Основным ограничением при вовлечении бензина крекинга в процесс компаундирования товарного бензина является высокое содержание серы в продуктах, около 80–85 % серы поступает в товарный бензин с потоком бензина каталитического крекинга. При переработке гидроочищенного сырья бензин крекинга направляется на установку компаундирования товарного бензина, вместе с тем, при переработке негидроочищенного сырья, продукты с высоким содержанием сераорганических соединений, как правило направляются на гидрооблагораживание перед компаундированием товарного моторного топлива, поскольку не удовлетворяют современным топливным стандартам.

Поэтому прогнозирование содержания сернистых соединений в продуктах крекинга является важным особенно для установок, перерабатывающих, гидроочищенное нефтяное сырье.

Главным подходом к решению оптимизационных задач сложных процессов является метод математического и кинетико-термодинамического моделирования. В Томском политехническом университете долгое время развивается направление по моделированию многокомпонентных каталитических процессов переработки различного углеводородного сырья [3]. Математическая модель процесса каталитического крекинга позволяет рассчитывать основные показатели процесса – выход бензиновой фракции, ППФ, ББФ, легкого и тяжелого газойля, кокса. Более того модель учитывает превращения сернистых соединений и обеспечивает прогнозирование содержания сернистых соединений и общей серы в продуктах каталитического крекинга с учетом состава перерабатываемого сырья и параметров технологического режима реакторно-регенераторного блока.

Целью работы является прогнозирование содержания серы в продуктах каталитического крекинга при переработке гидроочищенного и негидроочищенного нефтяного сырья.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить

следующие задачи:

- I. Выполнить аналитический обзор по современному состоянию и развитию технологии каталитического крекинга, влиянию гетероатомных соединений нефтяных фракций на показатели процесса каталитического крекинга и распределению сернистых соединений в продуктах каталитического крекинга;
- II. Выполнить экспериментальные исследования состава гидроочищенного и негидроочищенного сырья процесса каталитического крекинга и его физико-химических свойств;
- III. Выполнить верификацию модели и прогнозные расчеты по влиянию содержания общей серы в сырье на распределение серы в продуктах процесса;

1 Литературный обзор

1.1 Современное состояние и развитие технологий каталитического крекинга нефтяного сырья

Процесс каталитического крекинга (далее КК) является одним из важнейших в получении высокооктанового компонента бензина из низкокипящих остаточных нефтяных фракций, включая тяжелые остатки с других производств [2]. С помощью процесса каталитического крекинга стало возможно получать из малоценного тяжелого сырья высокооктановый компонент бензинов с октановым числом до 95 пунктов по исследовательскому методу и ценные жирные газы, которые используются для производств высокооктановых компонентов бензина изомерного строения: алкилата и метил-трет-бутилового эфира, а также сырья для нефтехимических производств. Научно-технический прогресс позволил открыть новые возможности процесса каталитического крекинга и его перспективы.

Главной проблемой процесса каталитического крекинга при переработке негидроочищенного сырья – является высокое содержание сераорганических соединений в сырье, примерно 200 – 1000 ppm, и соответственно в продуктах реакции, что влечет негативные последствия для технологического оборудования, усиливает дезактивацию катализаторов, и содержание серы в продуктах процесса.

Согласно нормам по содержанию серы в товарном бензине (не более 10 и 50 для классов К5 и К4 соответственно) высокое содержание серы в бензинах крекинга может вызывать ограничения по его вовлечению в процесс компаундирования.

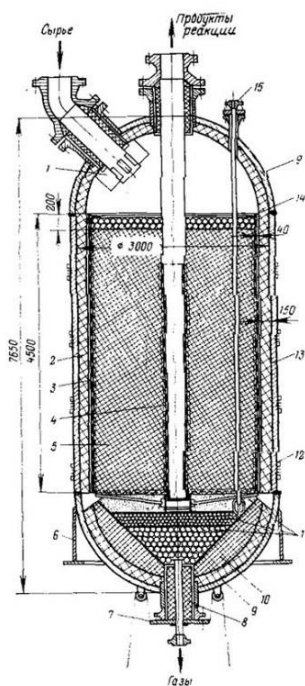
Для снижения содержания сернистых соединений в товарном бензине в первую очередь требуется либо её удаление из сырья для крекинга, или из его продуктов, либо удаление непосредственно в процессе каталитического крекинга путем корректировки технологических режимов.

1.1.1 Технологии каталитического крекинга нефтяного сырья

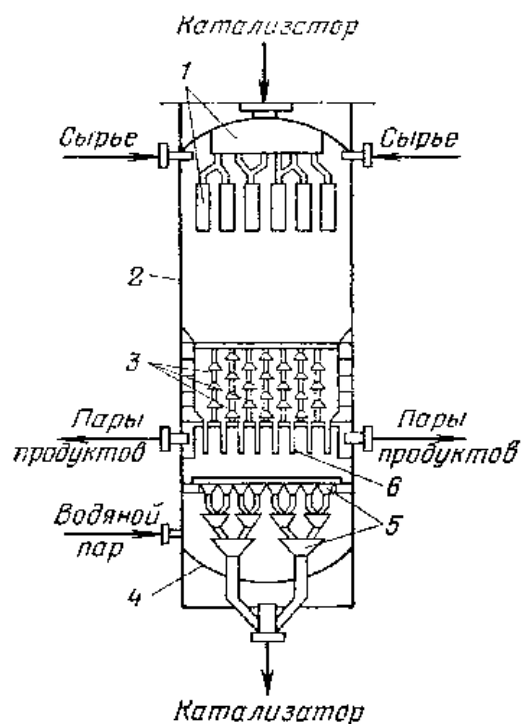
Каталитический крекинг начинал свое развитие в 1930 годах. За свою историю развития процесс каталитического крекинга постоянно совершенствуется, как в направлении конструкционных решений, так и катализаторов крекинга. Различают следующие установки по организации процесса.

Каталитический крекинг с использованием реактора периодического действия (реакторы Гудри)

Через нагретый стационарный слой катализатора пропускают сырье по мере коксования катализатора реактор периодического действия переводят в режим регенерации для выжигания кокса с его поверхности (рисунок 1).



1- распределитель; 2- футеровка; 3 – перфорированный стакан; 4 – труба; 5 – катализатор; 6 – опорное кольцо; 7 – люк; 8 – шамот; 9 – днища; 10 – наполнитель; 11, 14 – фарфоровые шарики; 12 – термopара; 13 – корпус
Рисунок 1 – Реакторы крекинга, периодического действия



1 – верхний распределитель катализатора; 2 – корпус; 3- патрубки для отвода паров; 4 – днище; 5 – нижний распределитель катализатора; 6 – переточные трубы
Рисунок 2 – Устройство реактора с движущимся слоем катализатора

Каталитический крекинг с непрерывной регенерацией катализатора.

Особенностью таких установок является непрерывный цикл движения катализатора между двумя аппаратами – реактор и регенератор. В ходе такого процесса из реактора выводится закоксованный катализатор, с поверхности которого выжигается кокс в отдельном аппарате и, далее снова возвращается в реактор для реакционного процесса. После процесса регенерации катализатор характеризуется высокими температурами вследствие протекания экзотермической реакции горения кокса, тем самым обеспечивая протекание эндотермических реакции каталитического крекинга без подвода внешнего тепла.

Установки с непрерывным процессом крекинга подразделяются на несколько типов, основные из которых представлены ниже.

Реакторы с движущимся слоем катализатора (типовая установка - 43-102, схема которой представлена на рисунке 2)

В ходе такого процесса слой шарикового катализатора движется сверху вниз по реактору в противотоке к поднимающимся парам сырья. При контакте происходит крекинг, отработанный катализатор через низ отправляется на регенерацию, а продукты крекинга на фракционирование. Регенерация протекает в отдельном аппарате при контакте катализатора с воздухом; при этом выделяющееся при сгорании кокса тепло используют для генерации пара.

Реакторы каталитического крекинга с кипящим слоем катализатора.

В реакторах такого типа микросферический цеолитсодержащий катализатор находится в псевдооживленном состоянии в потоке паров сырья. По мере закоксовывания частицы катализатора тяжелеют и оседают вниз. Далее катализатор отводят на регенерацию, которая осуществляется также в кипящем слое, а продукты поступают на разделение. К типовым установкам такого типа относятся установки 1А/1М, 43-103 (рисунок 3), которые за период своей эксплуатации были модернизированы.

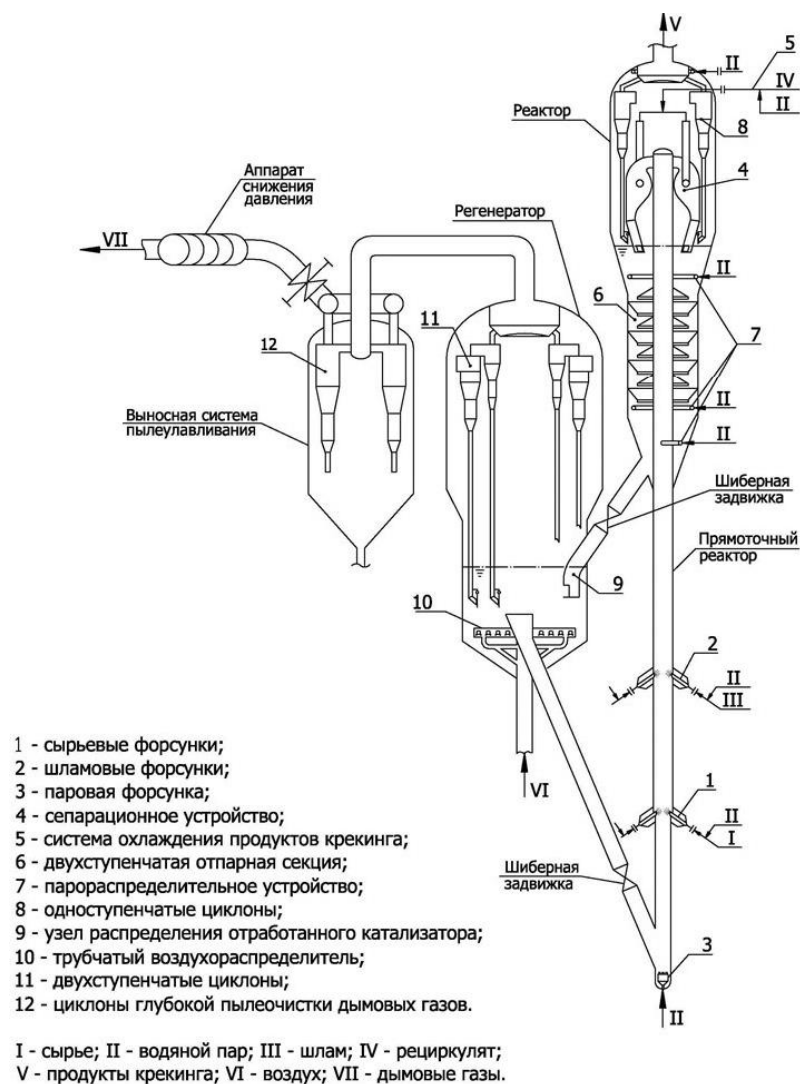
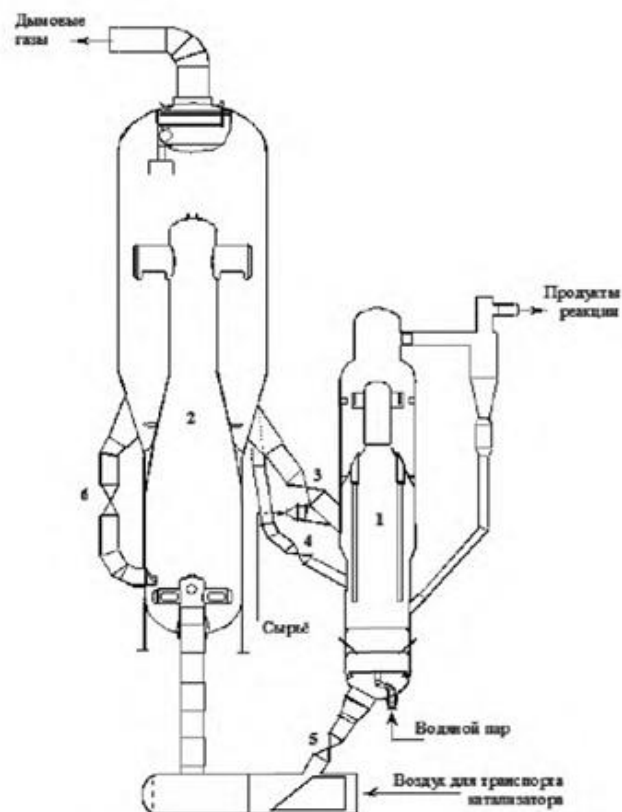


Рисунок 4 – Установка КК с лифт-реактором

Технология каталитического крекинга миллисеконд

Характерная особенность процесса – отсутствие лифт-реактора. Катализатор поступает в реактор нисходящим потоком, при этом впрыск паров сырья в катализатор осуществляется перпендикулярно направлению его движения. Общее время реакции составляет несколько миллисекунд, что позволяет (повысив соотношение катализатор:сырье) добиться повышения выхода бензиновой фракции вплоть до 60-65% (рисунок 5).



1- реактор; 2 – регенератор; 3 – линия регенерированного катализатора; 4 – линия горячего катализатора; 5 – линия отработанного катализатора; 6 – линия циркулирующего катализатора

Рисунок 5 – РРБ процесса MSCC

Технология каталитического крекинга INDMAX

Процесс каталитического крекинга под названием INDMAX (FCC) направлен на производство пропилена, этилена и бутиленов на НПЗ непосредственно из тяжелых остатков (рисунок 6). Конструкционные особенности установки обеспечивают преимущества с точки зрения низкого дельта-кокса (более высокое отношение катализатора к сырью) и более низкого производства сухого газа даже при использовании сырья с высоким содержанием углерода по Конрадсону (CCR).

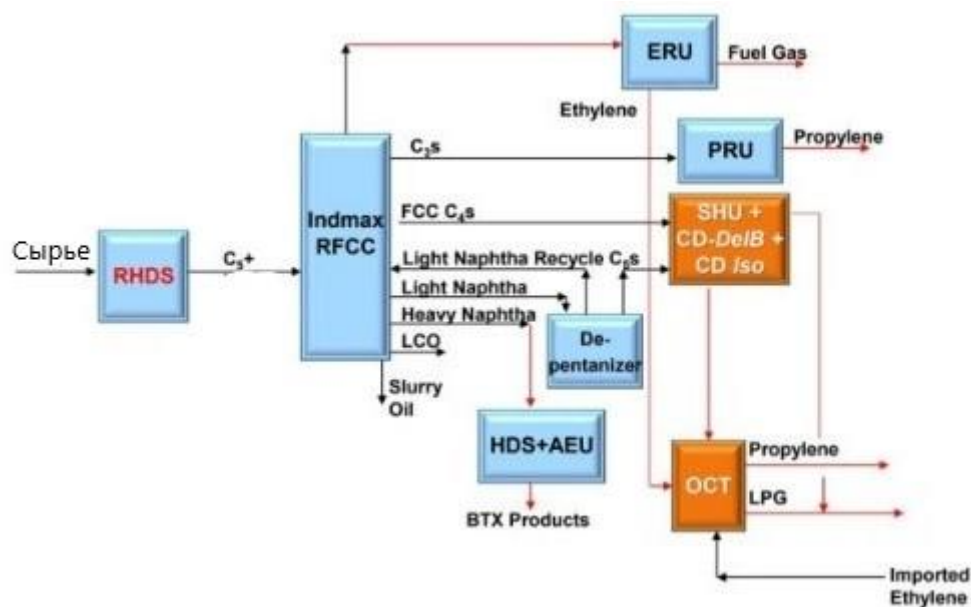


Рисунок 6 – Схема процесса INDMAX

В настоящее время наиболее совершенным процессом является каталитический крекинг с лифт-реактором. Выход бензина при котором составляет 50-55% с ОЧ ИМ 91/92, тогда как у реакторов с кипящим слоем выход бензина составлял 37% с ОЧ ИМ 90/91.

1.2 Основные факторы, влияющие на процесс каталитического крекинга

Основными факторами, влияющими на процесс каталитического крекинга, являются:

- свойства катализатора;
- температура процесса;
- давление;
- кратность циркуляции катализатора;
- весовая скорость;
- качество сырья;

Качество сырья

С целью максимального получения выхода целевых продуктов (высокооктанового бензина и сжиженных газов) наилучшим сырьем является смесь с преобладанием парафиновых и нафтеновых углеводородов.

Полициклические ароматические углеводороды, смолы и асфальтены (мазут, тяжелые остатки масленого производства) в условиях крекинга образуют значительное количество тяжелых фракций и кокса, снижая выход бензина.

Температура

Процесс каталитического крекинга проводят при температурах – 460–545 °С. При увеличении температуры в рабочей зоне реакторного блока, возрастает общая глубина превращения сырья, выход сухого газа, выход фракции C₃ - C₄, количество пропиленовых и бутиленовых фракций и выход дебутанизованного бензина до определенных температурных пределов, зависящих от качества перерабатываемого сырья свойств катализатора.

Давление

Процесс каталитического крекинга на установках с циркулирующим микросферическим катализатором ведется под давлением 0,78 – 0,147 МПа (0,8 – 1,5 кгс/см²). При увеличении давления, содержание олефиновых углеводородов в бензине уменьшается, соответственно уменьшается октановое число бензина. Со снижением давления, выход газов и концентрация в них непредельных углеводородов увеличивается.

Кратность циркуляции катализатора

Отношение количества тонн циркулирующего катализатора в час к количеству сырья подаваемого в реактор, является кратностью циркуляции катализатора. При постоянном количестве сырья, вносимого в реактор, и нормальных рабочих условиях процесса, с ростом кратности циркуляции катализатора, глубина превращения сырья увеличивается.

Весовая скорость

Весовой скоростью (час⁻¹), является отношение количества сырья подаваемого в час к количеству катализатора, через сечение прямоточного лифт-реактора.

С повышением весовой скорости, уменьшается время пребывания углеводородного сырья в рабочей зоне реактора. Время контакта

углеводородных паров с катализатором увеличивается с понижением весовой скорости, что приводит к их более глубокому превращению.

Переработка сырья с высокой весовой скоростью, дает больший выход бензина, чем крекинг с малой весовой скоростью. Относительный выход (в % вес. на сырье) бензина с ростом весовой скорости снижается сравнительно медленно. С уменьшением весовой скорости, выход кокса и удельный вес каталитического газойля увеличивается, особенно в области малых численных ее значений.

Свойства катализатора

Для обеспечения максимального выхода целевых продуктов и достижения высоких технико-экономических показателей, катализаторы крекинга должны обладать следующими свойствами:

- высокая активность, определяющая глубину превращения исходного сырья при равных условиях;
- высокая избирательность, которая оценивается способностью катализатора ускорять реакции в необходимом направлении и снижать скорости побочных реакций;
- стабильность катализатора, а именно стойкость к истиранию, деструкции;
- регенерируемость, которая характеризуется способностью быстро и многократно восстанавливать свою активность и избирательность в ходе окислительной регенерации без нарушения внутренней структуры и разрушения частиц;

1.2.1 Состав и свойства катализаторов каталитического крекинга

Практически все установки КК работают с использованием синтетических микросферических цеолитсодержащих катализаторов (далее ЦСК) [3]. Современные катализаторы состоят из: носителя (матрицы), цеолита, различных добавок, которые являются основными частями.

Наиболее важным показателем катализаторов крекинга является их активность, которая определяется удельной скоростью каталитической реакции, а именно количеством продукта, образующегося в единицу времени на единицу объема катализатора или реактора. Наряду с целевыми реакциями процесса каталитического крекинга протекает значительное количество побочных параллельных или последовательных реакций. Доля прореагировавших веществ с образованием целевых продуктов характеризуют селективность катализатора, которая зависит не только от природы катализатора, но и от параметров технологического режима процесса, поэтому ее следует относить к определенным условиям проведения реакции. Селективность также зависит от термодинамического равновесия. В нефтепереработке иногда селективность выражают условно как отношение выходов целевого и побочного продуктов, например таких, как бензин/газ, бензин/кокс или бензин/газ + кокс[10].

Стабильность всегда является одним из важнейших показателей качества катализатора, так как характеризует его способность сохранять активность во времени. От нее во многом зависит стабильность работы установок, продолжительность их безремонтного пробега, технологическое оформление, расход катализатора, материальные и экономические затраты, вопросы охраны окружающей среды и технико-экономические показатели процесса.

В процессе длительной эксплуатации катализаторы с определенной интенсивностью претерпевают физико-химические изменения, приводящие к снижению или потере их каталитической активности (иногда селективности), т. е. катализаторы подвергаются физической и химической дезактивации.

Физическая дезактивация катализатора, включая спекание, истирание, гидротермальную дезактивацию, происходит под воздействием высоких температур (в некоторых каталитических процессах), водяного пара и при его транспортировке и циркуляции. Данный процесс сопровождается

снижением удельной поверхности как носителя (матрицы) катализатора, так и активного компонента [10].

Кроме того, существует химическая дезактивация катализатора, которая обуславливается отравлением и блокировкой активных центров катализатора некоторыми содержащимися в сырье примесями, такими как тяжелые металлы, азотистые соединения, коксовые соединения. Например, необратимая хемосорбция азотистых соединений на катализаторах кислотного типа приводит к снижению доступности активной поверхности для реагентов, что существенно снижает выход целевых продуктов процесса.

Различают обратимую и необратимую дезактивацию катализаторов крекинга [4], при этом даже в случае обратимой дезактивации свойства катализатора снижаются вследствие длительной его эксплуатации в связи с чем в ходе реакционного процесса осуществляется догрузка свежего катализатора в систему, которая составляет около 0,5–2 т/сут.

Матрица (или носитель) играет важную роль в каталитических системах. На ранних стадиях развития КК, в катализаторах в качестве матрицы использовали синтетические алюмосиликаты, которые получали с помощью осаждения алюмокремнегеля с последующей термохимической обработкой водными растворами, данные матрицы состояли преимущественно из глинозема. В современных катализаторах в качестве матрицы служат синтезированные алюмосиликаты, которые в составе содержат глинозем (30-45% мас.), стабилизатор – каолин и связующий – силикатные и алюмосиликатные золи или высокогидратированные гидрогели и др.

Матрица, в первую очередь, должна обеспечить доступ реагентов к поверхности активного компонента, сохранение каталитических свойств цеолитов и предохранять катализатор от воздействия каталитических ядов при технологических условиях проведения процесса, а также обеспечивать необходимую прочность частицам катализатора. Способом регулирования активности матрицы является изменение содержания алюминия в составе

аморфного алюмосиликата. В зависимости от химического состава матрица может быть активной или неактивной. Неактивная матрица выполняет только функцию подвода реагентов к цеолитам и отвода от него продуктов процесса, на поверхности активной матрицы вместе с тем осуществляются реакции крекингования высокомолекулярных компонентов нефтяного сырья.

Кроме того, с точки зрения эффективности процесса каталитического крекинга важным фактором является не только создание оптимального химического состава и природы активных центров, но и регулирование пористой структуры матрицы [6]. Размер молекул перерабатываемых сырьевых продуктов достигает 50 Å для смол и асфальтенов.

Для обеспечения молекулярного механизма диффузии размер пор матрицы должен примерно в 10 раз превышать размер диффундирующей молекулы. Отсюда следует, что размер пор матрицы должен составлять приблизительно 500 Å. Дальнейшее увеличение размера пор будет приводить к снижению удельной поверхности матрицы и, соответственно, к уменьшению её активности. Формирование широкопористой структуры матрицы осуществляется за счет использования бентонитовой глины.

Матрица имеет многофункциональное назначение, и к ней применяются достаточно жесткие требования:

1. высокая механическая прочность;
2. активность при протекании первичных реакций крекинга тяжелого нефтяного сырья, регулируемая кислотность и активность для переработки ВГ с высокой температурой конца кипения;
3. эффективный отвод тепла от кристаллов цеолита в ходе процесса регенерации катализатора, а также высокая теплоёмкость, поскольку реакции каталитического крекинга, в большинстве своем, являются эндотермическим;
4. доступность поверхности цеолита для реагирующих молекул (за счет открытой пористой структуры);

5. оптимальная насыпная плотность катализатора для удержания его в системе;

6. минимизация эрозии материалов аппаратуры установки каталитического крекинга.

Цеолиты в составе катализаторов, являются ключевыми их компонентами. Они состоят из водных алюмосиликатов, щелочных или редко-земельных металлов (далее РЗЭ). Принято подразделять цеолиты в зависимости от величины силикатного модуля (x) на различные структурные типы (рисунок 7).

Тип цеолита	x
Цеолит А	1,8...2,0
Цеолит Х	2,3...3,0
Цеолит Y	3,0...6,0
Эрионит (цеолит Т)	6,0...7,0
Морденит	8,3...10,7
Цеолит L	10,0...35,0

Рисунок 7 – Типы цеолитов

В катализаторах первого поколения использовали природные цеолиты, такие как шабазит $(CaNa_2)[Al_2Si_4O_{12}] \cdot 6H_2O$, натролит $Na_2[Al_2Si_3O_{10}] \cdot 2H_2O$, гейландит $CaAl_2S_6O_{16} \cdot 5H_2O$, которые утратили свое промышленное назначение в связи с разработкой способов получения синтетических цеолитов, обладающих более высокой термостойкостью и активностью.

На сегодняшний день существуют катализаторы различного промышленного назначения, среди которых широкое распространение получили катализаторы в состав которых входят обессеривающие добавки. Такие катализаторы обеспечивают удаление соединений серы непосредственно в ходе реакционного процесса [7]. Например, в работе [8], изучено влияние серопонижающих добавок к катализатору крекинга и установлено, что важнейшей способностью катализатора при превращении серосодержащих компонентов в ходе каталитического крекирования является

его способность катализировать протекание реакций переноса водорода с образованием сероводорода. Смешение серопонижающих добавок с катализатором крекинга позволяют получать жидкие продукты крекинга с более низким содержанием серы.

В настоящее время производство катализаторов в мире обеспечивают, главным образом, несколько ведущих и специализирующихся в этой области фирм: Grace Davison [9], на долю которой приходится свыше 30% всего производства, BASF Catalysts (после того, как в ее состав вошла Engelhard Co, являющаяся одной из ведущих фирм по разработке и производству катализаторов крекинга и добавок к ним), AlbeMarle Corp. (после приобретения катализаторного бизнеса у Akzo Nobel Corp.), Catalysts and Chemicals Industries Co (CCIC, Япония и Индонезия), а также Lanzhou Petroleum and Chemical Corp. (Китай) и SINOPEC (Китай).

Номенклатура катализаторов крекинга включает на настоящий момент свыше 120 марок, причем производители позиционируют каждый из катализаторов как наиболее подходящий для решения определенного круга задач. Большинство из зарубежных фирм располагают широким ассортиментом промышленных катализаторов, различающихся по целевому назначению, уровню активности и селективности и пр. Один из производителей микросферических катализаторов крекинга в России – ООО «Стерлитамакский завод катализаторов», марка катализатора ОКТИФАЙН [8], катализаторы используются для крекинга нефтяных фракций на установках с псевдоожиженным слоем катализатора. Самым крупным производителем катализаторов в России является АО «ГазпромНефть КС», расположенный на территории «ГазпромНефть ОНПЗ», который производит микросферические катализаторы крекинга [12], марок «АВ» и «ДС», обеспечивающий 2 установки КК на Омском НПЗ также АО «ГазпромНефть МНПЗ» и ПАО «Славнефть-ЯНОС». Разработка и применение российских катализаторов крекинга выпуску во многом обеспечила производство

высокооктанового компонента бензина в соответствии со стандартами ЕВРО-5.

В 2016 году Омский НПЗ анонсировал выпуск катализатора нового поколения, в сотрудничестве с ведущими российскими научно-исследовательскими центрами в области катализа. Новый катализатор серии «Авангард» разработан российскими учеными Института проблем переработки углеводородов СО РАН совместно со специалистами Омского нефтеперерабатывающего завода. За счет улучшенных характеристик катализатор «Авангард» позволяет увеличить выпуск компонентов высокооктановых бензинов стандарта «Евро-5». Ежедневно на ОНПЗ производится порядка 10 тонн катализаторов нового поколения.

В 2021 году Омский НПЗ начал строительство крупного катализаторного завода [13], который заменит устаревшие установки производства микросферического катализатора, а также планируется выпуск первого отечественного катализатора гидрогенизационных процессов, плановый объем производительности – 21 тыс. тонн/год.

В состав композиции катализаторов крекинга (фракция 350 – 580 °С) входят два кислотных компонента: мезопористый аморфный алюмосиликат – высококислотная составляющая (бренстедовская и льюисовская кислотность) – и пересаженный гидроксид алюминия, имеющий более низкую льюисовскую кислотность. На установках каталитического крекинга без предварительного гидрооблагораживания, как правило, используют более широкопористые катализаторы с несколько меньшей активностью катализатора вследствие высокого содержания полициклической ароматики в сырье.

Наряду с характеристиками катализатора и параметрами технологического режима, значительное влияние на состав и выход продуктов каталитического крекинга оказывают свойства сырья.

1.2.2 Влияние состава сырья на показатели процесса каталитического крекинга

Как известно значительное влияние на показатели процессов переработки нефтяного сырья оказывает состав и качество перерабатываемого сырья. В процессе каталитического крекинга - чем тяжелее сырье, тем больше выход бензина и меньше выход газа, сырье с большим содержанием ароматики дает наибольший выход кокса и наименьший выход бензина. Нафтенное сырье дает лучший выход бензина и наименьший выход кокса. Низкокипящее сырье в свою очередь позволяет получить высокооктановый бензин, высококипящее – низкооктановый.

На установках каталитического крекинга без гидроочистки, в качестве сырья используется смесевое сырье: вакуумный газойль, масляные погоны и атмосферный газойль с установок АВТ, избыток гидроочищенного вакуумного дистиллята с комплексов переработки мазута, остаточные продукты производства масел – экстракты селективной очистки масел (гач, петролатум, слопвокс, деасфальтизат) некондиция с установок гидрокрекинга, а также в качестве сырья используется гидроочищенный вакуумный дистиллят.

На установках КК, с предварительно гидроочищенном вакуумным дистиллятом, сырье с высоким содержанием парафиновых углеводородов способствует увеличению выхода бензиновой фракции и его октанового числа за счет протекания реакций крекинга и изомеризации парафиновых углеводородов, перераспределения водорода и деалкилирования высокомолекулярных нафтен. В то же время, необходимо оптимизировать скорость переноса водорода, поскольку она способствует образованию ароматических углеводородов и, соответственно, кокса.

При высокой концентрации ароматических углеводородов и смол в сырье каталитического крекинга, наблюдается высокий выход легкого и тяжелого газойлей, а также повышенный выход кокса, относительно других

типов сырья, что в последствие может привести к несбалансированному температурному режиму, а также к низкому выходу бензиновой фракции и газа, богатого пропан-пропиленовой и бутан-бутиленовой фракций, из всего вытекающего не эффективной работе реакторного блока.

Гетероатомные соединения сырья каталитического крекинга которые оказывают негативное влияние на протекание целевых реакций и дезактивируя активные свойства катализатора. К ним относятся: соединения серы, асфальтены (смолы), полициклическая ароматика, металлы, кислород и азот [14]. Соответственно они делятся на примеси дезактивирующие катализатор обратимо и необратимо.

Обратимую дезактивацию вызывают коксогенные примеси – смолы и полициклическая ароматика (выраженные коксуемостью), закоксованный катализатор легко восстанавливает свои свойства путем регенерации, т.е. выжиганием кокса.

Соединения серы способствуют коксообразованию на катализаторе (катализирует процесс), при этом в процессе регенерации катализатора и эксплуатации товарных моторных топлив образуются вредные для атмосферы оксиды серы. Кроме того, в ходе каталитического крекинга значительная часть серистых соединений концентрируется в бензинах и тяжелых фракциях, вызывая необходимость процесса гидрооблагораживания продуктов крекинга [15],

К соединениям дезактивирующим катализатор необратимо относятся металлы и азот. Металлы (главным образом, ванадий и никель), откладываясь в порах катализатора, блокируют активные (кислые) центры, снижают его активность, способствуют коксообразованию и протеканию процесса dealюминирования [16–18].

Из всех соединений азота самыми сильными ядами катализатора являются такие основания азота как анилин, пиридин, хинолин, которые необратимо нейтрализуют кислые центры катализатора, приводя к потере активных свойств катализатора.

В настоящее время, действуют определенные требования к моторным топливам, принятые Правительством в 2011 году в техническом регламенте «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» (Постановление 118) жестко регламентируется не только массовая доля серы, но также и содержание ароматических углеводородов и бензола (Приложение А). Согласно Техническому регламенту таможенного союза ТР ТС 013/2011, принятым в 2011 году, товарные топлива разделяются на пять экологических классов.

В зависимости от режимов стадий подготовки [19] и переработки сырья на установках каталитического крекинга содержание серы в бензине может значительно изменяться и достигать 1.5 % мас, ограничивая вовлечение бензинов крекинга в процесс компаундирования товарного топлива.

1.3. Распределение сернистых соединений в продуктах каталитического крекинга

Рост объемов потребления углеводородного сырья зачастую сопряжен с необходимостью переработки тяжелой высокосернистой нефти. Высокое содержание серы в таком сырье создает значительные трудности при переработке, приводя к отравлению катализаторов, коррозии технологического оборудования и т.д.

В ходе каталитического превращения, соединения серы в сырье распределяются в продуктах процесса, образуя в ходе реакций конденсации серосодержащий кокс, который окисляется в процессе регенерации.

Сернистые соединения, содержащиеся в нефти, являются источником загрязнения окружающей среды. Поэтому содержание общей серы в современных моторных топливах строго регламентировано, не более 10 ppm в бензине в соответствии с ТР.

Основное количество сернистых соединений сырья установок каталитического крекинга представлено сульфидами, тиофенами, бензотиофенами, дибензотиофенами и другими серосодержащими соединениями. Бензины каталитического крекинга составляет от трети до половины бензинового фонда нефтеперерабатывающего завода.

Хотя более 50 % сернистых соединений сырья в ходе каталитического крекинга превращаются в сероводород, тем не менее бензин процесса характеризуется наибольшим содержанием серы среди других потоков НПЗ (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание серы в компонентах бензина НПЗ

Вид бензина	Содержание серы, ppm	Доля компонента в заводской смеси %	Вклад компонента в заводскую смесь %
Бензин каталитического крекинга	1000	45	99
Легкий прямогонный бензин	150	3	1
Бутаны	10	5	<1
Алкилат	3	10	<<1
Реформат	1	32	<<1
Изомеризат C ₅ /C ₆	3	5	<<1

Главным образом распределение серы в продуктах крекинга (рисунок 8) зависит от некоторых факторов, таких как: состав сырья, свойства катализатора, конструктивные особенности РРБ и фактические параметры технологического режима, такие как температура, давление, кратность циркуляции катализатора.

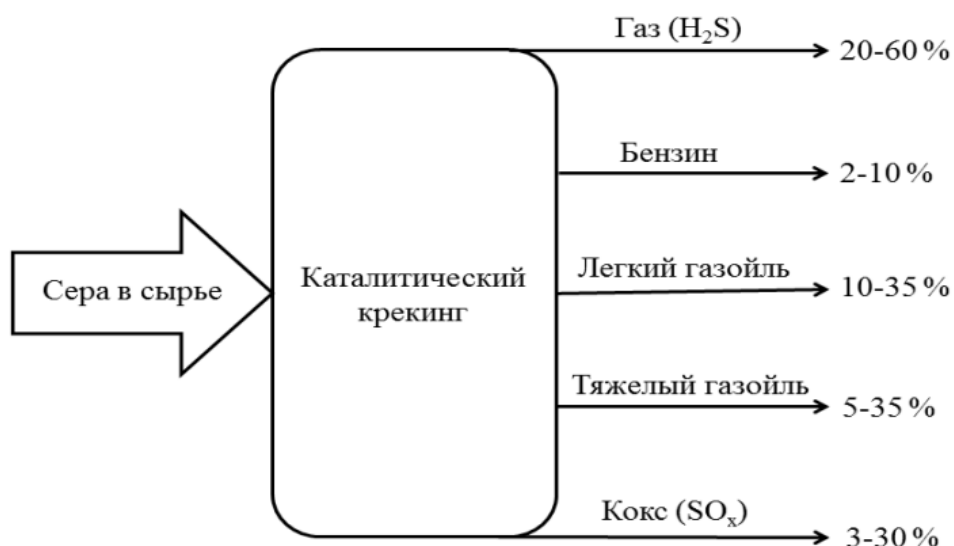


Рисунок 8 – Распределение сернистых соединений в продуктах крекинга

Как правило, около 10 % от общего содержания серы переходит в бензиновую фракцию (далее БФ). Распределение сернистых соединений в БКК представлено в таблице 2 [10].

Таблица 2 – Распределение сернистых соединений в БКК

Содержание серы	Содержание, %отн.	Сложность удаления
Меркаптаны	5	Легкоудаляемые
Сульфиды	<1	
Дисульфиды	<1	
Тиофены	78	Сложноудаляемые
Бензотиофены	13	
Прочие	4	

В ряде работ [10] установлено, что наиболее труднокрекируемыми серосодержащими компонентами являются производные тиофена и его гомологов, такие как метилтиофен, этилтиофен, пропилтиофен, а также тетрагидротиофена, бензотиофена и другие серосодержащие ароматические компоненты. Бензины крекинга, как правило, характеризуются высоким содержанием тиофеновых соединений, поскольку температура кипения тиофенов близка к температурам кипения легкого и тяжелого бензина.

1.4 Химические превращения сернистых соединений в процессе каталитического крекинга

Сущность процесса каталитического крекирования углеводородов основана на расщеплении высокомолекулярных компонентов сырья на более низкомолекулярные соединения с перераспределением водорода по месту разрыва углерод-углеродной связи в присутствии микросферического цеолитсодержащего катализатора [21]. В итоге образуется газ, бензин, легкий и тяжелый газойль и кокс, который отлагается на поверхности катализатора.

В процессе крекинга сернистого сырья, соединения серы претерпевают различные превращения (рисунок 9) [22–26]. Согласно схеме сернистые соединения сырья превращаются в тиофены, алкилтиофены, бензотиофены, алкилбензотиофены, при основными направлениями их превращения являются, полимеризация, деалкилирование, алкилирование, циклизация, конденсация, крекинг. Авторы предполагают, что бензины крекинга содержат преимущественно тиофены с короткими алкильными заместителями, предполагают, что полученные бензотиофены способны конденсироваться до кокса с выделением водорода (рисунок 10). При этом основные направления превращения описываемых серосодержащих соединений существенно зависят от [H]-донорной активности углеводородов сырья [20].

Поэтому основным вариантом снижения содержания серы в бензине является увеличение селективности реакции переноса водорода, что позволяет увеличить образование сероводорода и кокса, что можно достичь путем изменения состава катализатора крекинга. В работе [11] показано, что при наличии углеводородов с высокой [H]-донорной активностью (например, декалина, тетралина или других нафтеновых структур) в превращении 2-метилтиофена (рисунок 11) преобладает направление в ходе которого образуются ди- и тетрагидротиофены, которые далее в условиях

Кроме того, авторы считают, что при крекинге бензотиофена, а именно бензольного кольца является маловероятным, так как σ -комплекс в случае атаки тиофенового цикла является более устойчивым, поэтому более вероятным направлением превращений бензотиофенов при наличии донора водорода является направление 1 [20].

Для повышения эффективности процесса и создания математического описания химических превращений в многокомпонентных процессах широко используют методы математического моделирования. При этом математическая модель должна быть адаптирована к промышленному объекту с учетом основных параметров технологического режима и особенностей катализатора и перерабатываемого сырья.

2 Объект и методы исследования

2.1 Характеристика объекта исследования

Объектом исследования является процесс каталитического крекинга гидроочищенного вакуумного дистиллята. Установка каталитического крекинга предназначена для получения компонента высокооктанового бензина методом каталитического крекирования на активных центрах микросферического цеолитсодержащего катализатора.

Установка каталитического крекинга с предварительной гидроочисткой, является одним из процессов комплекса углубленной переработки мазута. Производительность установки 2,4 млн. тонн/год. Установка предназначена для получения высокооктанового компонента бензиновой фракции, жирных газов и компонентов дизельных топлив из вакуумного дистиллята, продукта вакуумной перегонки мазута с блоков АВТ. Благодаря предварительному гидрооблагораживанию сырья КК, продукты установки вовлекаются в процесс компаундирования товарных продуктов. Вместе с тем, согласно технологическому регламенту на установку могут вовлекаться и негидроочищенные потоки, что значительно увеличивает содержание серы в продуктах процесса.

На установке применяется цеолитсодержащий микросферический катализатор (размер частиц 35-150 мкм). Удельная поверхность – 300–400 м²/гр, активным компонентом является крекирующий цеолитный компонент нанесенный на аморфную алюмосиликатную матрицу. В качестве цеолитного компонента используется ультрастабильный цеолит Y, с добавками цеолита ZSM-5 для увеличения выхода легких продуктов и октанового числа бензина. Поточная схема реакторного блока представлена на рисунке 12.

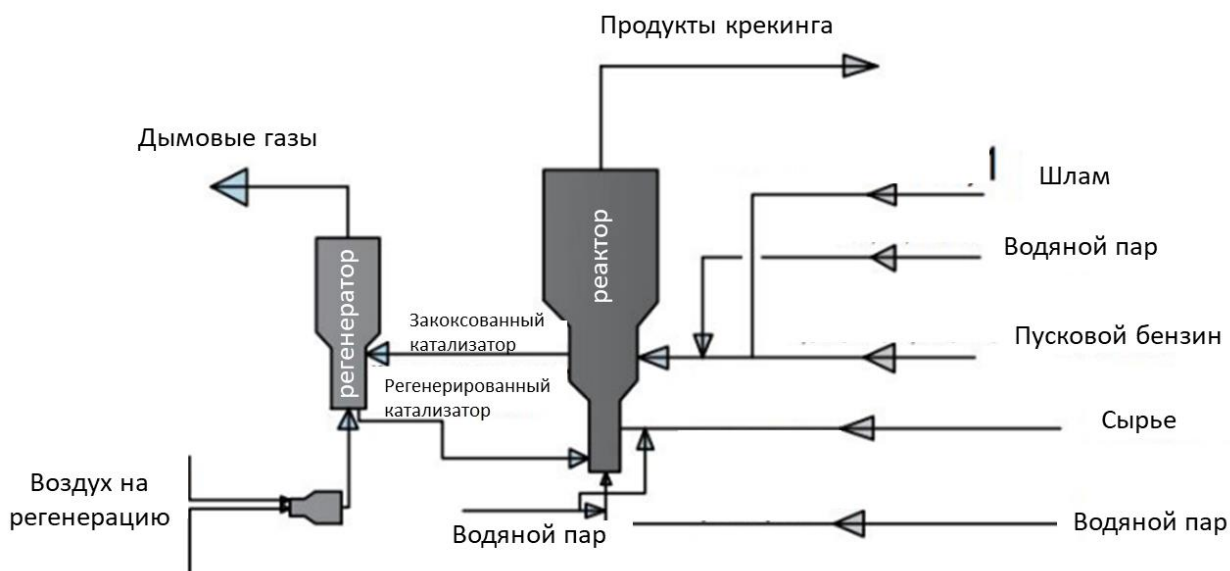


Рисунок 12 – Принципиальная поточная схема реакторно-регенераторного блока установки каталитического крекинга гидроочищенного вакуумного дистилята

Описание технологической схемы

Сырье – гидроочищенный вакуумный дистилят (фр. 350÷520 °С), через четыре сырьевые форсунки, расположенные равномерно по окружности лифт-реактора на отметке 8,5 метров, подается в лифт-реактор реактора каталитического крекинга. Распыл сырья на форсунках осуществляется подачей пара. В лифт-реакторе сырье контактирует с восходящим потоком регенерированного катализатора из регенератора. Для организации восходящего потока в захватное устройство лифт-реактора подается водяной пар, для стабилизации коксовой нагрузки регенератора, в лифт-реактор производится подача шлама (вторичного сырья крекинга). Сырье, шлам, распыленные перегретым паром, смешиваются в лифт-реакторе с регенерированным катализатором, поступающим из регенератора. При контакте с горячим катализатором происходит испарение жидких нефтепродуктов. Пары нефтепродуктов, продвигаясь по прямоточному реактору в смеси с катализатором, подвергаются каталитическому крекированию. На выходе из прямоточного реактора смесь из катализатора, водяного пара и продуктов крекинга разделяется после чего пары реакции,

отделившись от основной массы катализатора, поступают в отстойную зону реактора. Из отстойной зоны пары нефтепродуктов проходят циклоны и поступают в сборную камеру реактора, откуда направляются в ректификационную колонну. Закоксованный катализатор поступает в зону десорбции реактора, из которой направляется самотеком в линию к регенератору. Регенерация катализатора происходит путем окисления кокса с наружной поверхности и из внутренних пор катализатора кислородом воздуха. Регенерированный катализатор из регенератора самотеком поступает на смешение с сырьем в лифт-реактор. Дымовые газы с верхней части регенератора, проходят стадии очистки от катализаторной пыли и поступают на секцию утилизации тепла в котлах-утилизаторах. Для поддержания активности катализатора, происходит постоянная подпитка свежим катализатором в регенератор.

Пары продуктов крекинга, загрязненные катализаторной пылью, из реактора поступают в ректификационную колонну, где происходит разделение паров нефтепродуктов от остаточного продукта с частью катализаторной пыли. Смесь паров нефтепродуктов из концентрационной секции поступают в отпарную колонну, из кубовой части выводится фракция 420 °C+, которая направляется на шламовые форсунки, часть выводится с установки в линию тяжелого газойля и является сырьем процесса коксования и компонентом котельного топлива. Из отпарной колонны отбирается фракция 195-310 °C, которая выводится с установки в линию легкого газойля и направляется на компаундирование и приготовление дизельных топлив в товарный парк.

Из кубовой части колонны отводится смесь паров углеводородов, конденсируется и полученная газоконденсатная смесь поступает в газоводоотделитель, в котором происходит разделение на нестабильный бензин, жирный углеводородный газ и воду. Из газоводоотделителя жирный газ поступает в газосепараторы, далее разделяясь на ППФ и ББФ. Нестабильный бензин из газоводоотделителя поступает на блок абсорбции,

где стабильный бензин отделяется от остатков нефтепродуктов, которые возвращаются в линию орошения в ректификационную колонну. Готовый бензин выводится с установки и направляется в парк компаундирования готового топлива, часть бензина может быть смешана с негидроочищенными потоками бензина и направляться на установки гидроочистки.

Важным этапом математического моделирования являются экспериментальные исследования состава и свойств потоков с промышленной установки, которые служат входными данными в модели и используются для верификации модели.

2.2 Методы исследования

Для определения содержания серы в сырье и продуктах процесса каталитического крекинга использован ГОСТ32139-2019. Метод рентгенофлуоресцентного анализа основан на зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце. При облучении образца мощным потоком излучения рентгеновской трубки возникает характеристическое флуоресцентное излучение атомов, которое пропорционально их концентрации в образце.

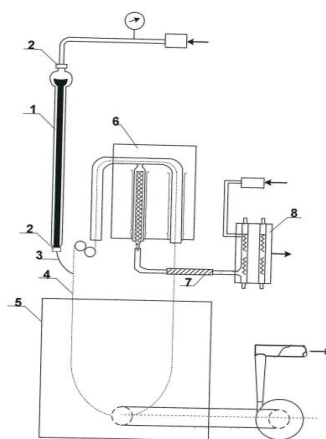
Облучение атомов образца фотонами с высокой энергией – возбуждающим первичным излучением рентгеновской трубки, вызывает испускание электронов. Электроны покидают атом. Как следствие, в одной или более электронных орбиталях образуются "пустоты" – вакансии, благодаря чему атомы переходят в возбужденное состояние, т.е. становятся нестабильны. Через миллионные доли секунды атомы возвращаются к стабильному состоянию когда вакансии во внутренних орбиталях заполняются электронами из внешних орбиталей. Такой переход сопровождается испусканием энергии в виде вторичного фотона – это явление именуется "флуоресценция". Энергия вторичного фотона находится в диапазоне энергий рентгеновского излучения, которое располагается в

спектре электромагнитных колебаний между ультрафиолетом и гамма-излучением [27].

Для исследования состава образцов гидроочищенного и негидроочищенного сырья каталитического крекинга использован метод жидкостно-адсорбционной хроматографии. Хроматограф «Градиент-М», предназначен для определения группового химического состава тяжелых нефтяных остатков с температурой кипения выше 300°C методом жидкостно-адсорбционной хроматографии с градиентным вытеснением. «Градиент-М» состоит из двух основных частей: аналитической – насадочной колонки из стеклянного капилляра с резервуаром для элюента, заполненной силикагелем, в которой происходит разделение исследуемой смеси, и детектирующей (рисунок 13) – катарометра. Использование частиц неподвижной фазы малого размера (менее 100 мкм) обеспечивает большую однородность и плотность упаковки, небольшая высота слоя сорбента (30*1,2 мм) не требует создания высокого давления (0,5 атм).

Колонка расположена в герметизирующем штативе посредством фиксаторов 2. Посредством иглы 3 раствор компонента в элюенте подается на цепочку-транспортер 4. В испарителе 5 происходит удаление элюента. В окислительной ячейке 6 происходит превращение разделенных групп, в двуокись углерода. Окислительная ячейка представляет собой кварцевый тройник Ш-образной формы; входная и средняя ветви снабжены нагревательными спиралями. Окисление продуктов сгорания до двуокиси углерода и воды осуществляется с помощью окиси меди.

После прохождения кварцевого буфера продукты горения подвергаются осушке в осушительном патроне, после чего поступают в рабочую камеру катарометра 8. Поток воздуха по тракту «окислительная ячейка – катарометр» создается с помощью насоса, сравнительная камера катарометра – глухая.



1– хроматографическая колонка; 2 – фиксатор; 3 – игла; 4 – цепочка транспортер; 5 – испаритель; 6 – окислительная ячейка; 7– осушительный патрон; 8 – катарометр

Рисунок 13 – Общая схема «Градиент-М»

Метод градиентного вытеснения с детектированием по теплопроводности позволяет получить четкое разделение нефтепродуктов на группы, в основном соответствующие основным группам соединений, содержащихся в нефти, а именно насыщенных углеводородов, легкой ароматики, средней ароматики, тяжелой ароматики, бензольных и спирто-бензольных смол с использованием 6-тикомпонентного элюента. Легкая средняя и тяжелая ароматика содержат преимущественно моно-, ди- и триароматические углеводороды. Порядок выхода групп: 1 пик – парафино-нафтеновые углеводороды; 2 пик – легкие ароматические углеводороды; 3 пик – средние ароматические углеводороды; 4 пик – тяжелые ароматические углеводороды; 5 пик – бензольные смолы; 6 пик – спиртобензольные смолы.

Методика также предусматривает количественное определение асфальтенов в нефтяных фракциях с использованием двухкомпонентной подвижной фазы.

Для проведения прогнозных расчетов по содержанию серы в продуктах процесса использован метод математического моделирования и разработанная в ТПУ математическая модель процесса, учитывающая превращения сернистых соединений.

Ключевыми этапами моделирования работы промышленных объектов являются мониторинг работы промышленной установки, который позволил установить различия в свойствах в гидроочищенного вакуумного дистиллята и негидроочищенного смесового сырья процесса, а также изменение параметров технологического режима и качества продуктов на промышленном объекте.

Следующем этапом стало экспериментальное исследование состава и содержания серы в гидроочищенном вакуумном дистилляте и негидроочищенном смесовом сырье каталитического крекинга.

Далее выполнена адаптация и верификация математической модели процесса к промышленной установке, а также расчеты по прогнозированию содержания серы в продуктах каталитического крекинга при переработке гидроочищенного и негидроочищенного смесового сырья на установке каталитического крекинга.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д8Б	Лобода Константин Сергеевич

Школа	ИШПР	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, информационно-технологических и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	03.02.2023
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		03.02.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д8Б	Лобода Константин Сергеевич		03.02.2023

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель данного раздела – оценить перспективы развития, коммерческую и финансовую ценность, соответствие современным требованиям и стандартам, продукта разработанного в рамках исследовательской работы.

Перспективы развития, говорят о дальнейшей доработке, модификации исследуемого компонента, исключением является разработка продукта, готового к прямому применению в представленной области, без каких-либо вмешательств. Математическая модель является не совершенной, применение результатов возможно только после тестирования и внесения небольших поправок, исключающих возникновение нештатных ситуаций.

Коммерческая ценность определяется наличием востребованности на рынке продаж, в соотношении с уже имеющимися разработками, стоимости конкретных доработок, а также финансовые издержки на продвижение данного продукта в конкуренции с подобными продуктами.

В разделе будут рассмотрены следующие задачи:

- Оценка коммерческого потенциала и перспективы проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- Анализ рынка, конкуренция успешно позиционированным разработкам;
- Расчет экономических затрат на исследование;
- Оценка целевой аудитории данной категории;

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

4.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования и перспективы развития продукта

Целевой рынок содержит сегменты рынка, на которых будет продаваться разработка. Сегмент рынка – это часть рынка, группа потребителей, обладающих определенными признаками. Сегментирование – это разделение потребителей на группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар или услуга.

Продукт, получаемый в ходе научно-исследовательской работы – является математическая модель процесса каталитического крекинга, оптимизированная под конкретную установку каталитического крекинга, с тяжелым нефтяным сырьем. К потенциальным потребителям могут относиться химические и нефтехимические компании, нефтеперерабатывающие заводы, в частности проектные офисы НПЗ, занимающиеся инженерным моделированием и совершенствованием существующих нефтехимических процессов.

В настоящее время доля низкокипящего углеводородного сырья, увеличивается. Нефть относится к возобновляемым природным ресурсам, но добыча по всему миру во многом превышает возобновляемость данного ресурса. Большая часть добываемых залежей насыщена тяжелыми углеводородами, соответственно доля гетероатомных соединений, в частности серы, очень велика.

4.1.3 Анализ конкурентных технических решений

Задача как можно успешнее противостоять соперникам на рынке, для этого необходимо на основе анализа конкурирующих разработок внести

соответствующие коррективы в научное исследование. Подобный анализ необходимо проводить периодически, так как рынки находятся в постоянном движении и необходимо 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, которые занимаются исследованиями промышленного процесса каталитического крекинга, являются «KBC AdvancedTechnologies» и «AspenTech».

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 9.

Таблица 9 - 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. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,40	0,40	0,40
4. Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	2	0,30	0,18	0,12
5. Финансирование научной разработки	0,03	4	5	4	0,12	0,15	0,12
6. Срок выхода на рынок	0,04	5	4	4	0,20	0,16	0,16
7. Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	4	0,24	0,30	0,24
Итого	1				4,84	3,81	3,44

Из данной таблицы можно сделать вывод - предлагаемая разработка лидирует по таким весовым критериям как «Повышение производительности труда пользователя», «Удобство в эксплуатации», «Качество

интеллектуального интерфейса», «Простота эксплуатации» и «Цена», что в теории должно обеспечить серьезную конкурентоспособность существующим разработкам.

4.1.4 SWOT-анализ

SWOT – это комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. SWOT-анализ (таблица 9.1) состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 9.1 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научноисследовательского проекта:	Слабые стороны научноисследовательского проекта:
	С1. Экологичность производственной технологии	Сл1. Стоимость необходимого оборудования
	С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями	Сл2. Отсутствие достаточного финансирования проектов
	С3. Квалифицированный персонал	
Возможности:		
В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ	С1. Разработка новой технологии	Сл1. Приобретение необходимого оборудования для проведения опытов
В2. Появление спроса на продукт	С2. Появится большой спрос на продукт за счет получения прогноза	Сл2. Изучение данного метода прогнозирования
Угрозы:		
У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства	С1. Данный продукт будет пользоваться спросом только на НПЗ с высокой глубиной переработки	Сл1. Разработка рекламной компании на данный продукт, в виде презентации улучшения

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 9.2–9.4.

Таблица 9.2 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

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

Таблица 9.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

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

Таблица 9.4 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

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

В результате анализа интерактивной матрицы проекта, представленной в таблицах 9.2 - 9.4, были определены следующие сильные коррелирующие стороны и возможности: B1C1C2C3; B2C1C2 и B3C1C2C4.

Третьим этапом анализа была составлена итоговая матрица SWOT – анализа. Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 9.5.

Таблица 9.5 - Итоговая таблица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта	Слабые стороны научно-исследовательского проекта
--	--	---

Продолжение таблицы 9.5

	<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>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.</p> <p>Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p> <p>Сл3. Отсутствие инжиниринговой услуги, способной обучить работать в рамках проекта.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры НИ ТПУ.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Направления развития</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>Сдерживающие факторы</p> <p>Создание инжиниринговой услуги, способной обучить работать в рамках проекта с использованием всей доступной инфраструктуры.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Появление более эффективных разработок у конкурентов.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований.</p>	<p>Угрозы развития</p> <p>1. Следование тенденции к снижению стоимости продукта. 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>Уязвимости</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 приемлемая 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 10.

Таблица 10 – 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
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер, научный руководитель
	10	Обсуждение результатов	Инженер, научный руководитель
	11	Оформление пояснительной записки	Инженер
	12	Рецензирование	Научный руководитель
Составление отчета НИР	13	Презентация	Инженер
	14	Защита результатов НИР	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

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

$$t_{ожі} = \frac{3 * t_{min\ i} * t_{max\ i}}{5} \quad (2)$$

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях TP , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$TP_i = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (3)$$

Где TP_i – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее

количество выходных дней в году;

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

4.3 Разработка графика проведения научного исследования

График проведения научного исследования, говорит о затраченном времени на выполнение работы 2х исполнителей, также время на подготовку определенных разделов по датам, выдачу заданий научным руководителем. Для удобства, информация будет предоставлена в виде диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (5)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (6)$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа и свести (таблица 10.1)

Таблица 10.1 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни		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 10.1

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

На основе таблицы 10.1 построен календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 2.2 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 10.2 Календарный план-график проведения НИОКР

№	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			
1	Составление и утверждение технического задания	Исп1	4	■																						
2	Выбор направления исследования	Исп1	5	■																						
		Исп2	5	■																						
3	Календарное планирование работ по теме	Исп1	5		■																					
4	Составление литературного обзора ВКР	Исп2	13			■																				
5	Составление формализованной схемы превращений	Исп1	19				■																			
		Исп2	27					■																		
6	Разработка математической модели	Исп1	56										■													
		Исп2	71																							

4.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

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 бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ предоставлены в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования			Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Комплект канцелярских принадлежностей			7	7	6	90	90	90	630	630	540
2.	Бумага А4			230	250	250	4	4	4	920	1000	1000
3.	Бумага А1			5	7	9	15	15	15	75	105	135
4.	Картридж для лазерного принтера			1	2	2	3250	3250	3250	3250	6500	6500
5.	Программное обеспечение			3	4	3	350	350	350	1050	1400	1050
Итого:										5925	9635	9225

Исходя из таблицы о расчетах бюджета затраченных средств на приобретение оборудования, видно что исполнитель 1, лидирует по экономии средств.

4.3.2 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 (таблица 11.1,11.2) $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (7)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 3.1).

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (8)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (9)$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 11.1 – 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 11.2 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}$, руб	k_{np}	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, 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

4.3.3 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 2023 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.3.4 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 11.3 и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 11.3 – 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 :

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр}, \quad (10)$$

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

4.3.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости исследование промышленного процесса каталитического крекинга при расширении ресурсов сырья, приведенной в таблице 11.4.

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

Таблица 11.4 – 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

В результате выполнения расчетов, бюджет затрат на НИР для текущего проекта составил 744946,8 руб.

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 4). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (11)$$

где – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

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.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 12).

Таблица 12 – 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:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}} \quad (12)$$

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.

Список литературных источников

1. V.A. Chuzlov et al. / Fuel Processing technology 196 (2019) 106139
2. Задегбейджи, Р. Каталитический крекинг в псевдооживленном слое катализатора. Справочник по эксплуатации, проектированию и оптимизации установок ККФ: пер. с англ. яз. 3-го изд; под ред. О.Ф. Глаголева. – СПб.:ЦОП «Профессия», 2014. – 384 с.
3. Hussain, A. I. Catalytic cracking of vacuum gasoil over –SVR, ITH, and MFI zeolites as FCC catalyst additives / A. I. Hussain, A. Palani, A. M. Aitani, J. Čejka, M. Shamzhy, M. Kubů , S. Al-Khattaf // Fuel Processing Technology. – 2017. – Vol.161. – P. 23–32.
4. Froment, G.F. Catalyst Deactivation 1999 / G.F. Froment, B. Delmon // Studies in Surface Science and Catalysis. – Amsterdam. : Elsevier. 1999. – 511 p. 91.
5. Bartholomew, C.H. Catalyst Deactivation 1997 / C.H. Bartholomew, G.A. Fuentes // Studies in Surface Science and Catalysis. – Amsterdam. : Elsevier. 1997. – 695 p.
6. Guisnet, M. Roles of Acidity and Pore Structure Carbonaceous Deposits / M. Guisnet, P. Magnoux, D. Martin // Studies in Surface Science and Catalysis. – 1997. – Vol. 111. – P. 1–19
7. Siddiqui M. A. B., Aitani A. M. FCC Gasoline Sulfur Reduction by Additives. Petroleum Science and Technology, 2007, pp. 299-313. DOI: 10.1081/LFT-200063072
8. Электронный ресурс - https://kntgroup.ru/ru/production/katalysts/microspheroidal_catalyst_of_cracking
9. Электронный ресурс - <https://grace.com/about-grace/our-businesses/catalyst-technologies3>.
10. Глотов А.П – «Обессеривающие добавки к катализаторам крекинга нефтяного сырья» 3-29 с.

11. Потапенко О. В., Доронин В.П., Сорокина Т.П. ВЛИЯНИЕ [Н] – донорной активности углеводородов на превращения тиофеновых соединений в условиях каталитического крекинга / О. В. Потапенко// Нефтехимия. – 2012. - №1. – С.60-65
12. Спецвыпуск Омский НПЗ 05.2021 – «Как это сделано: продукция высшего качества» 2021. 14-15 с.
13. Электронный ресурс - https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom_neft_postroit_v_omskoy_oblasti_vysokotekhnologichnye_pr_oizvodstva
14. Peng Liu, Quan Shi, Na Pan, Yahe Zhang, Keng H. Chung, Suoqi Zhao, and Chunming Xu., Distribution of Sulfides and Thiophenic Compounds in VGO Subfractions: Characterized by Positive-Ion Electrospray Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry. Energy and fuels, 2011, pp. 3014 - 3020.
15. Хаджиев С.В. Крекинг нефтяных фракций на цеолитсодержащих катализаторах / под ред. Хаджиева С.Н. – М.: Химия. – 1982. – С.280
16. Etim, U. J. Vanadium and nickel deposition on FCC catalyst: Influence of residual catalyst acidity on catalytic products / U. J. Etim, P. Bai, X. Liu, F. Subhan, R. Ullah // Microporous Mesoporous Mater. – 2019. – Vol. 273. – P. 276–285. 102.
17. Cerqueira H.S. Deactivation of FCC catalysts / H.S. Cerqueira, G. Caeiro, L. Costa, F. R. Ribeiro, J. Mol // Catal. A Chem. – 2008. – Vol. 292. – P. 1–13. 103.
18. Souza, N. L. A. Vanadium poisoning of FCC catalysts: A quantitative analysis of impregnated and real equilibrium catalysts / N. L. A. Souza, I. Tkach, E. Morgado, K. Krambrock // Applied Catalysis A – 2018. – Vol. 560. – P. 206–214.
19. Munem A. Karim, Halim A. Mohammed, A. Areff., Effect of operating conditions on hydrodesulfurization of vacuum gas oil. Diyala Journal of Engineering Sciences, 2008, pp. 19-31.

20. Потапенко О.В – «Термические и каталитические превращения сераорганических соединений в процессе крекинга нефтяного сырья» стр. 10-93,102,104 с.

21. Corma, A. Current views on the mechanism of catalytic cracking / A. Corma, A. V. Orchilles // Microporous and Mesoporous Materials. – 2000. – Vol. 35– 36 с. – P.21–30.

22. Mizutani H., Korai Y., Mochida I., Behavior of sulfur species present in atmospheric residue in fluid catalytic cracking. Fuel, 2007, pp. 2898-2905.

23. A. Corma, C. Mart'inez, G. Ketley , G. Blair. On the mechanism of sulfur removal during catalytic cracking. Applied Catalysis A: General, 208, 2001, pp. 135–152.

24. Иовик Ю.А., Гончаров А.В., Кривцов Е.Б., Головки А.К. Кинетические закономерности образования производных тиофена в процессе крекинга вакуумного газойля и гудрона/ А. К. Головки// Сборник тезисов докладов международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций»-Томск, 2019. – 12-19 с.

25. Al-Bogami, Saad A., "Catalytic Conversion of Benzothiophene Over a H-ZSM5 Catalyst, Reactivity and a Kinetic Model" (2013). Electronic Thesis and Dissertation Repository. 11–46.

26. Valla J.A., Lappas A.A., Vasalos I.A. Catalytic cracking of thiophene and benzothiophene: Mechanism and kinetics. Applied Catalysis A: General, 2006, pp. 90-101.

27. РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ - В.И. Соболев, издательство Томского политехнического университета 2014, стр. 1-6

28. Назарова, Г.Ю. Повышение эффективности процесса каталитического крекинга вакуумного дистиллята в лифт-реакторе с применением метода математического моделирования: дис. на соискания ученой степени канд.тех.наук: 02.00.13 / Назарова Галина Юрьевна. – Томск, 2019. – 192 с.

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

30. ГОСТ 12.4.299-2015 Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Рекомендации по выбору, применению и техническому обслуживанию

31. ГОСТ Р 58208-2018 Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Системы индивидуальной защиты от падения с высоты. Общие технические требования

32. ГОСТ Р 12.4.297-2013. Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты, выплесков расплавленного металла, контакта с нагретыми поверхностями, кратковременного воздействия пламени.

33. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Нормы технического регламента таможенного союза ТР ТС

013/2011101

Таблица А1 - Требования к характеристикам автомобильного бензина

Характеристики автомобильного бензина	Единица измерения	Нормы в отношении экологического класса			
		К2	К3	К4	К5
Массовая доля серы, не более	мг/кг	500	150	50	10
Объемная доля бензола, не более	%	5	1	1	1
Массовая доля кислорода, не более	%	не определяется	2,7	2,7	2,7
Объемная доля углеводородов, не более:	%				
ароматических		не определяется	42	35	35
олефиновых		не определяется	18	18	18
Октановое число:	-				
по исследовательскому методу, не менее		80	80	80	80
по моторному методу, не менее		76	76	76	76
Давление насыщенных паров:	кПа				
в летний период		35-80	35-80	35-80	35-80
в зимний период		35-100	35-100	35-100	35-100
Концентрация железа, не более	мг/дм	отсутствие	отсутствие	отсутствие	отсутствие
Концентрация марганца, не более	мг/дм	отсутствие	отсутствие	отсутствие	отсутствие
Концентрация свинца*, не более	мг/дм	5	5	5	5
Объемная доля монометиланилина, не более	%	1,3	1,0	1,0	отсутствие
Объемная доля оксигенатов, не более:	%				
метанола		не определяется	1	1	1

Продолжение таблицы А1

эанола		не определяется	5	5	5
изопроанола		не определяется	10	10	10
третбуанола		не определяется	7	7	7
изобуанола		не определяется	10	10	10
эфиров, содержащих 5 или более атомов углерода в молекуле		не определяется	15	15	15
других оксигенатов (с температурой конца кипения не выше 210°С)		не определяется	10	10	10