

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 18.03.02 Энерго - и ресурсосберегающие процессы
в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование процесса гидрокрекинга нефтяного сырья с применением метода математического моделирования

УДК 665.642.6-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К51	Федоров Иван Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Белинская Наталия Сергеевна	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Белоенко Елена Владимировна	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Егор Михайлович	К.Т.Н.		

Томск – 2019 г.

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 (специальность) 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы
 в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
 Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Юрьев Е.М

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2К51	Федорову Ивану Евгеньевичу

Тема работы:

Исследование процесса гидрокрекинга нефтяного сырья с применением метода математического моделирования	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	13.02.2019 №1131/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – процесс гидрокрекинга вакуумного газойля.</p> <p>Исходные данные: технологическая схема процесса гидрокрекинга, технологические условия процесса, составы сырья и продукта.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Превращения углеводов в процессе гидрокрекинга 1.2. Конструкции установок гидрокрекинга 1.3. Катализаторы процесса гидрокрекинга 2. Объект и методы исследования <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Объект исследования 2.2. Методы исследования <ol style="list-style-type: none"> 2.2.1. Квантово-химические методы расчета термодинамических свойств молекул 2.2.2. Метод математического моделирования 3. Расчеты и аналитика <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Термодинамический анализ реакций процесса гидрокрекинга 3.2. Формализованная схема превращений углеводов в процессе гидрокрекинга 3.3. Кинетическая модель процесса гидрокрекинга 4. Результаты разработки
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация Раздаточный материал</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына Зоя Васильевна, к.т.н., доцент
Социальная ответственность	Белоенко Елена Владимировна, к.т.н., доцент

<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>
--

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>22.04.2019</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель

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

	Сергеевна			
--	-----------	--	--	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К51	Федоров Иван Евгеньевич		

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 (специальность) 18.03.02 Энерго - и ресурсосберегающие процессы
 в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
 Уровень образования Бакалавр
 Отделение химической инженерии
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Обзор литературы	
	Объект и методы исследования	
	Расчеты и аналитика	
	Результаты разработки	
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
	Социальная ответственность	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности.
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач.
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии.
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К51	Федоров Иван Евгеньевич

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	385 339
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	27,1%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Определить стоимость затрат на проведение работ по исследованию процесса гидрокрекинга нефтяного сырья с использованием математического моделирования</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Оценка эффективности использования основных производственных фондов в стоимостной форме</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Диаграмма Исикавы*
3. *Альтернативы проведения НИ*
4. *График проведения и бюджет НИ*

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К51	Федоров Иван Евгеньевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2К51	Федорову Ивану Евгеньевичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.02 Энерго и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Тема ВКР:

Исследование процесса гидрокрекинга нефтяного сырья с использованием математического моделирования	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: процесс гидрокрекинга вакуумного газойля. Области применения: нефтеперерабатывающие предприятия, на которых реализован процесс гидрокрекинга.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	СанПин 2.2.4.548-96 СП 52.13330.2016 СанПиН 2.2.4.3359-16 ГОСТ 12.1.007- 76 ГОСТ 12.0.003-2015 СНиП 23-03-2003
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Отклонение показателей микроклимата 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны
3. Экологическая безопасность:	Оксиды углерода, серы,

	<p>раздражающие органы дыхания, Образование кислотных дождей и другие разрушающие атмосферу факторы.</p> <p>На литосферу и гидросферу не оказывает вредного влияния.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Техногенного характера (аварийная ситуации);</p> <p>Социального характера (террористический акт);</p> <p>– Наиболее типичной является аварийная ситуация техногенного характера.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Белоенко Елена Владимировна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К51	Федоров Иван Евгеньевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 85 с., 14 рис., 20 табл., 31 источник, 1 приложение.

Ключевые слова: ГИДРОКРЕКИНГ, ВАКУУМНЫЙ ГАЗОЙЛЬ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, КАТАЛИЗАТОР, ДЕЗАКТИВАЦИЯ.

Объектами исследования является процесс гидрокрекинга вакуумного газойля.

Целью работы является исследование процесса гидрокрекинга нефтяного сырья.

В процессе работы исследованы групповой состав сырья, продукта и факторы, влияющие на процесс гидрокрекинга, так же проводились расчеты с использованием математической модели.

В результате исследования получены составы сырья и продукта процесса гидрокрекинга, термодинамические и кинетические параметры реакций процесса гидрокрекинга, разработана математическая модель.

Научная новизна полученных результатов выражена в новой схеме превращений углеводородов в процессе гидрокрекинга, значениях термодинамических и кинетических параметров реакций гидрокрекинга.

Основные конструктивные, технологические и технико - эксплуатационные характеристики: технологические условия в реакторе.

Степень внедрения: рекомендации по технологическим параметрам процесса гидрокрекинга не переданы на промышленное производство.

Область применения: объекты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в сохранении ресурса катализатора и повышении ресурсоэффективности процесса.

В будущем планируется провести углубленное изучение дезактивации катализатора с целью увеличения его срока службы.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

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

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

водородсодержащий газ (ВСТ): газ с высоким содержанием водорода (от 50%), образуется в процессе каталитического риформинга.

Оглавление

Введение.....	15
1 Обзор литературы	18
1.1 Превращения углеводородов в процессе гидрокрекинга	18
1.2 Конструкции установок гидрокрекинга.....	23
1.3 Катализаторы процесса гидрокрекинга	27
1.4 Постановка цели и задач исследования	34
2 Объект и методы исследования	36
2.1 Объект исследования	36
2.2 Методы исследования.....	38
2.2.1 Квантово-химические методы расчета термодинамических свойств молекул	38
2.2.2 Метод математического моделирования	40
3 Расчеты и аналитика	42
3.1 Термодинамический анализ реакций процесса гидрокрекинга вакуумного газойля	42
3.2 Формализованная схема превращений углеводородов в процессе гидрокрекинга вакуумного газойля.....	43
3.3 Кинетическая модель процесса гидрокрекинга вакуумного газойля	45
4 Результаты разработки	46
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	50
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	50
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	50
5.1.2 Диаграмма Исикавы.....	52
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	53
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	53
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	55
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	57

5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	60
5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	66
6 Социальная ответственность	69
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	69
6.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	70
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	70
6.2 Производственная безопасность.....	71
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	71
6.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве	72
6.2.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов.....	74
6.3 Экологическая безопасность.....	75
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	77
6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве	77
6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	78
Заключение	79
Список использованных источников	81
Приложение А	85

Введение

В настоящее время Российская нефтеперерабатывающая промышленность обладает следующими характерными чертами: отставание по показателям качества от показателей, обозначенных стратегическими целями государства и показателей мирового уровня по причине низкой глубины переработки [1].

На сегодняшний день можно выделить несколько негативных аспектов нефтепереработки: средняя глубина переработки нефти составляет 80 % против 88 % в мире; индекс Нельсона составляет 4,5 против 6,8 в мире; качество и количество нефтепродуктов с высокой добавленной стоимостью значительно отстает от мирового.

Актуальность в более углубленной переработки нефти увеличивается все больше с каждым годом. Спрос на высококачественные нефтепродукты растет, а уровень добычи нефти снижается. Затраты на добычу и транспортировку нефтепродуктов также растут. Ограниченность запасов нефти приводит к необходимости введения в нефтепереработку тяжёлых и битумных нефтей [2].

В ближайшие несколько лет вследствие истощения запасов легкоизвлекаемой нефти добываемая нефть будет все тяжелее по составу и свойствам. Такая нефть имеет высокие значения плотности и вязкости, высокое содержание примесей, таких как азот, сера, а также металлы, что осложняет ее переработку в ценные товарные нефтепродукты, в частности моторные топлива. В связи с этим нефтеперерабатывающие заводы осуществляют мероприятия по усовершенствованию и модернизации производственных мощностей глубокой переработки нефти путем внедрения такого процесса как гидрокрекинг. Этот процесс позволяет получать из тяжелых фракций нефти ценные, экологически чистые продукты. Во время протекания процесса катализатор должен поглощать металлы и другие примеси, содержащиеся в сырье [3].

Тяжелая нефть содержит сложные молекулы и связи в своем строении, которые создают многочисленные осложнения во время протекания процесса. Чтобы снять эти отложения необходимо менять технологию проведения процесса или воздействовать на него с помощью изменения некоторых параметров, таких как [4]:

1. состав сырья;
2. активность и селективность катализатора;
3. химическая кинетика;
4. условия работы и время контакта.

Над исследуемой проблемой работали следующие ученые и институты: Полещук О.Х., Кижнер Д.М. Томский педагогический университет, 2006. Рассматривали наиболее актуальные проблемы современной химии, такие как: путь протекания реакции, поверхность потенциальной энергии, выбор химической модели в пределах метода молекулярных орбиталей. Для решения данных проблем они использовали популярный и в то время пакет программного обеспечения GAUSSIAN.

Доктор технических наук А.Н. Загоруйко. Научно-образовательный центр энергоэффективного катализа Новосибирского государственного университета и Институт катализа им. Г.К. Борескова, 2015. Обсуждались такие проблемы, как: разработка и оптимизация каталитических реакторов. А.Н. Загоруйко утверждал, что эти проблемы являются одними из сложнейших задач, как с точки зрения теории, так и практики. Сложность он объяснял многообразием типов, различных функций и условий работы этих реакторов, а также необходимостью учета различных явлений и факторов, оказывающих влияние.

Таким образом, актуальным представляется исследование процесса гидрокрекинга нефтяного сырья, что является **целью работы**.

Объект исследования – процесс гидрокрекинга вакуумного газойля.

Предметом исследования являются кинетические и термодинамические закономерности протекания процесса гидрокрекинга, а также факторы, влияющие на процесс гидрокрекинга вакуумного газойля.

Научная новизна полученных результатов заключается в разработке схемы превращений углеводородов в процессе гидрокрекинга, значениях термодинамических и кинетических параметров реакций гидрокрекинга.

Практическая значимость результатов работы состоит в том, что разработанная математическая модель может использоваться на промышленной установке для прогнозирования состава продуктов при текущем режиме, а также для определения оптимальных параметров процесса в зависимости от состава сырья.

1 Обзор литературы

1.1 Превращения углеводородов в процессе гидрокрекинга

Гидрокрекингом принято считать термokatалитический процесс, в котором температура достигает 350 ° С и выше. Процесс сопровождается высоким давлением (от 5 МПа до 20 МПа). Химизм процесса гидрокрекинга схож с химизмом процесса каталитического крекинга. Однако водород, в среде которого протекает гидрокрекинг, тормозит реакции, протекающие через стадию образования олефинов.

В процессе гидрокрекинга тяжелых нефтяных фракций на активных центрах бифункционального катализатора последовательно и параллельно протекают следующие реакции:

- гидрогенолиз серо -, азот - и кислородсодержащих органических соединений с образованием аммиака и сероводорода, а также воды;
- гидрирование непредельных и ароматических углеводородов до парафинов и нафтенов;
- крекинг высокомолекулярных и нафтеновых соединений;
- изомеризация циклических структур;
- деалкилирование циклических структур;

В результате протекания указанных реакций достигается основная цель процесса гидрокрекинга – получение широкого спектра продуктов.

Почти все первичные реакции процесса гидрокрекинга проходят до конца, а вторичные реакции в присутствии водорода подавляются или превращаются [5].

Также значительно снижается и выход олефинов, скорость вторичных реакций падает. Это может быть обусловлено присутствием этих веществ. Разветвленные парафиновые углеводороды подвержены деметанизации. Метильные группы, которые были присоединены ко вторичным атомам углерода, отделяются намного легче, чем присоединенные к третичным. Наиболее устойчивыми к процессу гидрокрекинга являются метильные группы, которые присоединяются к четверичным атомам углерода.

Также при воздействии водорода на нафтены можно наблюдать разрыв колец, который сопровождается быстрым насыщением водородом образованных фрагментов. Эти кольца разрываются в удобных для себя позициях, однако, воздействию подвергаются все позиции углеродных связей. В качестве примера можно привести метилциклопентан, который при использовании платино - углеродного катализатора образует 2-метилпентан, 3-метилпентан, а также н - гексан.

Ароматические углеводороды в привычных условиях как правило устойчивы к гидрированию. Если условия более жесткие, то основными реакциями могут являться превращения колец ароматических углеводородов в нафтеновые и отрыв боковых алкильных цепей. Нафтены могут быть также превращены в парафины.

Полициклические ароматические углеводороды легче могут разрушаться, чем моноароматические структуры. Реакции в таком случае идут поэтапно: на первом шаге происходит насыщение и затем происходит разрыв одного кольца. Примером можно считать нафталин, который гидрокрекируется с окисью молибдена, с образованием низкомолекулярных парафинов [5].

При этом при давлении ниже 15 – 20 МПа можно наблюдать протекание таких реакций как уплотнение и коксообразование. В таком случае значения технологических параметров процесса устанавливаются с целью подавления этих побочных реакций.

Таблица 1.1 – Основные реакции и продукты гидрокрекинга и углеводородов нефтяного сырья.

Исходные углеводороды	Реакции	Образующиеся углеводороды
Парафиновые	Изомеризация, разрыв цепи	Низкокипящие парафиновые изостроения

Продолжение таблицы 1.1

Нафтеновые моноциклические	Изомеризация, гидродеалкилирование	Циклопентаны C ₆ - C ₈ и низкокипящие парафиновые изостроения
Нафтеновые бициклические	Раскрытие кольца, изомеризация, гидродеалкилирование	
Алкилароматические	Изомеризация, диспропорционирование, гидродеалкилирование, гидрирование	Алкилароматические C ₈ - C ₉ , низкокипящие изопарафиновые и нафтеновые
Нафтено - ароматические	Раскрытие кольца	
Полициклические ароматические	Гидрирование	
Олефиновые	Изомеризация, разрыв цепи, гидрирование	Низкокипящие парафиновые изостроения

Внутреннее строение представленных углеводородов влияет на превращения ароматических углеводородов. Ароматические углеводороды, так называемые «незамещенные», в условиях протекания процесса гидрокрекинга могут являться достаточно устойчивыми. Что касается полициклических ароматических углеводородов, то у них гидрируется одно или же несколько ароматических колец, в тоже время гидрирование одиночного кольца происходит довольно сложно. Получившиеся в ходе реакций бинафтены превращаются в целом за счет раскрытия нафтенового кольца, при этом дают на выходе моноциклические ароматические углеводороды. При заданных условиях процесса наблюдается интенсивное частичное гидрирование тех самых полициклических ароматических углеводородов, а разложение циклановых колец полициклических соединений с образованием по большей мере изо - парафинов. Алкилароматические углеводороды поддаются таким реакциям как: изомеризация, гидродеалкилирование, также гидрирование со следующим раскрытием их кольца. В качестве примера рассмотрим

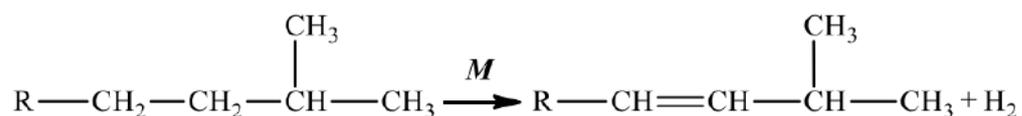
использование *n*-бутил-бензола. В этом случае наблюдается преобладание реакций dealкилирования, а также первичное расщепление в большей мере происходит в точке контакта заместителя и кольца с образованием бутанов и бензола; помимо того, что *n*-децилбензол не только dealкилируется, он также на 39 % циклизуется с образованием тетралина.

Следовательно, важными отличительными особенностями конечных продуктов процесса гидрокрекинга можно считать следующее:

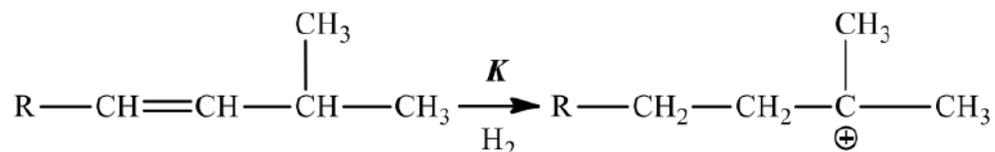
- невысокий выход парафинов $C_1 - C_3$ и в частности метана с этаном в продуктах реакции;
- бутановая фракция в себе содержит изобутан в количестве 60 - 80 %;
- пентановая, а также гексановая фракции почти полностью, а точнее на 90 – 96 % состоят из изомеров. Циклопарафины C_6 в себе содержат приблизительно 90 % метилциклопентана. В конечном счете легкий бензин (по температуре до 85 °С), содержит в себе примерно 80 – 90 % парафинов, помимо этого 5 % бензола и 10 - 12 % нафтенов. Такой бензин обладает достаточно высокими антидетонационными свойствами (октановое число по исследовательскому методу составляет 84 – 87).
- бензины (начиная от C_7 и выше) содержат в своем составе 40 - 50 % нафтеновых, 0 - 20 % ароматических углеводородов и служат довольно хорошим сырьем для процесса риформинга;
- керосиновые фракции, вследствие большого содержания изопарафинов и моно- и бициклических ароматических соединений могут быть топливом высокого качества, используемым в реактивных двигателях;
- дизельные фракции в себе обычно содержат небольшое количество ароматических углеводородов и, как правило, состоят из нафтеновых и изопарафиновых углеводородов, а это в свою очередь обуславливает их высокое цетановое число и низкую температуру застывания.

Реакции гидрокрекинга и изомеризации протекают по карбокатионному механизму, который состоит из нескольких последовательных стадий. На первой стадии протекает дегидрирование на металлических центрах катализатора, при этом образуются олефины, которые способны присоединять протоны на кислотных центрах с сопутствующим образованием карбокатионов. Через стадию образования олефинов проходят такие реакции как циклизация, изомеризация, крекинг с образованием более стабильных третичных карбокатионов. Ионы возвращают протон и образуют промежуточный олефиновый продукт, он в свою очередь способен гидрироваться на металлическом центре и впоследствии десорбироваться с поверхности катализатора [6]:

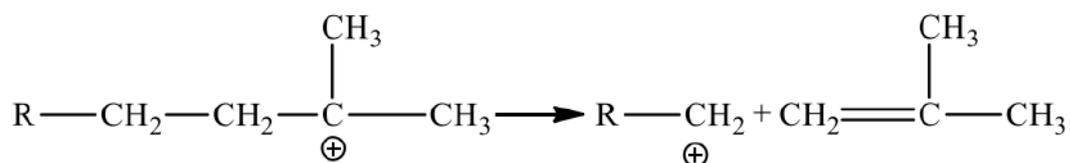
1) Образуется олефин:



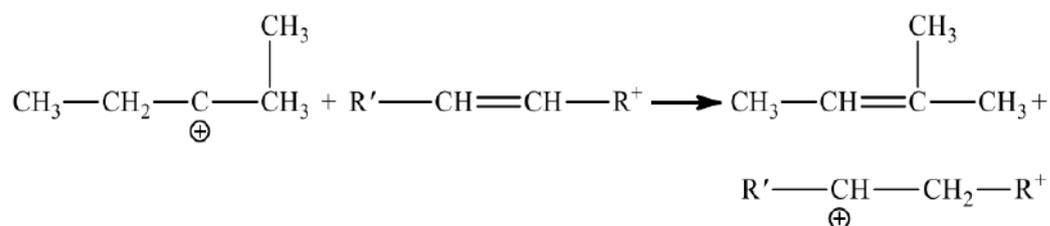
2) Образуется третичный карбокатион:



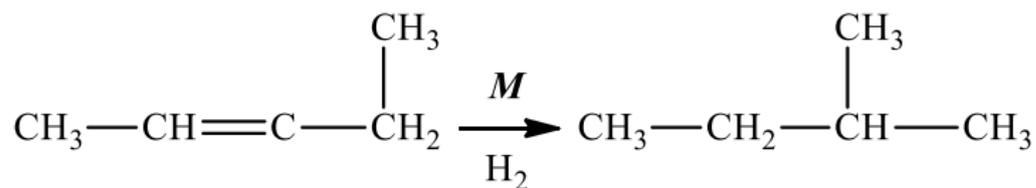
3) Процесс крекинга на кислотном центре:



4) Реакция карбокатиона с олефином:



5) Реакция гидрирования олефина



М – металлический центр; К - кислотный центр.

Анализ литературных источников показал, что механизмы реакций, протекающих в процессе гидрокрекинга, являются сложными и многостадийными. Это в свою очередь обуславливает сложность регулирования параметров на промышленных установках, так как при изменении температуры и давления могут измениться направления превращений на различных стадиях реакции. На следующем этапе данной работы указанные сложности будут учтены при разработке формализованной схемы превращений углеводородов в процессе гидрокрекинга.

1.2 Конструкции установок гидрокрекинга

Установки гидрокрекинга бывают различных типов и разновидностей. В качестве примера разберем одноступенчатую однопроходную и двухступенчатую установки.

Одноступенчатая однопроходная установка (рис. 1.1) – относительно недорогой вариант для частичной конверсии с получением легких продуктов. Обычно ее используют в случаях, когда тяжелая нефть приходит по цене недорогих базовых компонентов материалов для смазки или сырья, используемого в этиленовых установках. При переработке дизельных фракций с целью получения низкосернистого дизельного топлива по этой же схеме высокого давления, как и для тяжелой нефти, применяются несколько методов. В современные и новые установки зачастую внедряют несколько параллельных реакторов гидрокрекинга с целью получения смазочных материалов.

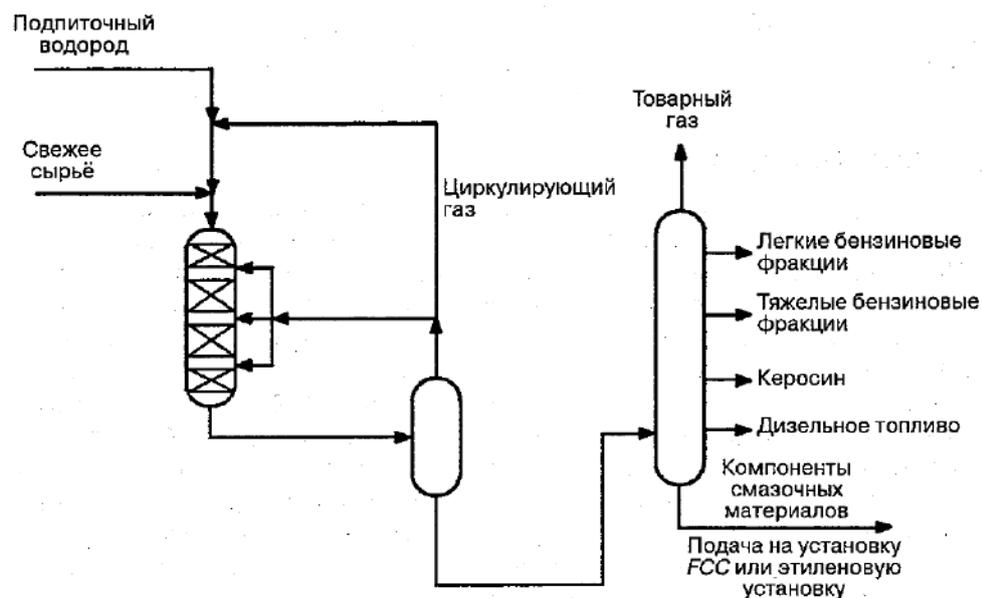


Рисунок 1.1 – Схема одноступенчатого однопроходного гидрокрекинга

Двухступенчатая установка гидрокрекинга (рис. 1.2) обычно применима, когда целью является максимально возможный выход моторного топлива. В таких случаях непревращенный продукт первой стадии подается во вторую стадию (ступень). Эта схема может быть рассчитана, исходя из ценности нужного продукта, на максимальный выход средних дистиллятов либо бензиновых фракций. Регулируя работу колонны фракционирования продуктов или используя во второй стадии другой катализатор, можно в больших пределах изменять соотношение выходов дизельного топлива и авиационного керосина, а также средних дистиллятов и бензиновых фракций.

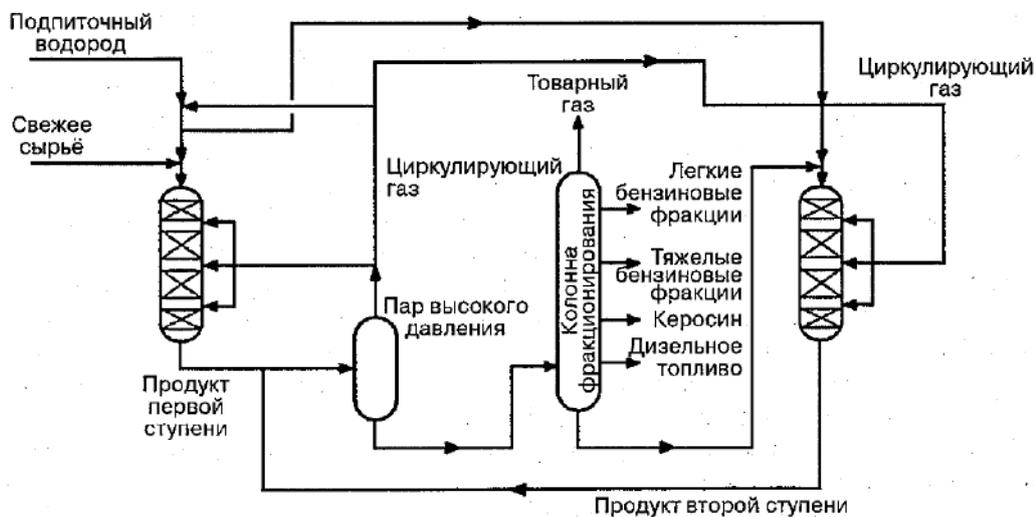


Рисунок 1.2 – Схема двухступенчатого гидрокрекинга

Модификация НуCycle. В данной схеме часто используются реакторы крекинга, а также гидроочистки с общим последовательным потоком циркулирующего газа и обратным расположением. Конечные продукты, а также непрошедшие обработку остатки сырья из реактора гидроочистки прямым образом разделяются в секции под высоким давлением, результатом является рециркулят, возвращаемый в реактор гидрокрекинга. Как и в двух описанных выше схемах, рециркулят не содержит примесей в составе. Если качественно отделить непретворенное сырье от продукта, это позволит увеличить скорость циркуляции по сравнению с нормальной, поэтому катализатор гидрокрекинга способен работать в менее суровых условиях и дает больший выход конечных продуктов. В большинстве случаев схема НуCycle является недорогой в обслуживании и не требует больших затрат на эксплуатацию.

В процессе НуCycle применяются уникальные комбинации, упрощающие достижение полного превращения исходного сырья (99,5 %) при небольшой (от 20 % до 40 %) глубине превращения за один цикл. Важной особенностью данного процесса является пониженное рабочее давление. Относительно других процессов давление в реакторе НуCycle Unicracking ниже на 25 %. Плюсом является и пониженное потребление водорода. Примером могут выступать средние дистилляты, выход которых можно повысить до 5 %, а дизельного топлива до 15 %.

На первом этапе непретворенное сырье и крекированные конечные продукты разделяются в горячем сепараторе при реакторном давлении. Вторым этапом является прохождение отделенных продуктов через реактор заключительного гидрирования. На данной стадии максимально повышается качество дистиллята. Так как рециркулят вначале проходит через катализатор гидрокрекинга, а затем уже через катализатор гидроочистки, процесс можно считать обратным. Такое обратное расположение позволяет добиться поступления на катализатор крекинга более чистого сырья. Помимо этого, повышается парциальное давление водорода. Конечным результатом можно считать повышение удельной активности катализатора, а это снижает его

требуемый объем. В схеме также применяется общий поток циркулирующего газа, это сохраняет экономическую эффективность одноступенчатой конструкции. В реакторах такого типа применяются низкотемпературные катализаторы UOP. Они позволяют повысить скорость подачи комбинированного сырья, не увеличивая диаметр или перепады давления в реакторе. Схема такого процесса приведена на рис. 1.3.

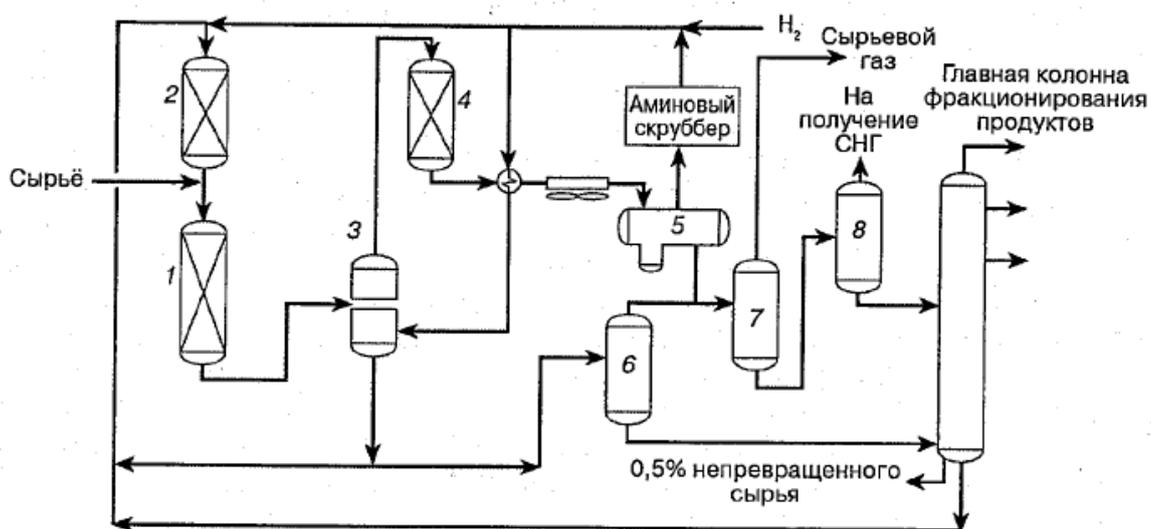


Рисунок 1.3 – Технологическая схема процесса HyCycle Unicracking:

1 – реактор гидроочистки; 2 – реактор гидрокрекинга; 3 – горячий сепаратор усовершенствованной конструкции; 4 – реактор заключительного гидрирования; 5 – сепаратор высокого давления; 6 – горячее фракционирование; 7 – холодное фракционирование; 8 – отгонная колонна.

Можно сделать вывод о том, что совокупность процессов с общим названием «оптимизированная частичная конверсия» позволяет максимизировать выход выбранного нами продукта, перерабатывать сырье переменного качества, изменять свойства продуктов и в конечном счете управлять этим превращением сырья исходя из спроса на рынке.

Изучив литературные источники, можно сделать вывод о том, что конструкции установок гидрокрекинга очень разнообразны. Зная нужный целевой продукт и условия, при которых будет проходить процесс, можно сделать выбор в пользу той или иной установки. Каждая из них обладает своими плюсами и минусами [7].

1.3 Катализаторы процесса гидрокрекинга

Свойства выбранного для процесса катализатора влияют на материальный баланс процесса, а также и качество выпускаемых нефтепродуктов. Важными свойствами являются: соотношения и активности его кислотной и гидрирующей функции. Преобладание в катализаторе крекирующей или гидрирующей функции также влияет на результат процесса. В этом случае конечными являются продукты легкого или глубокого гидрокрекинга.

Катализаторы гидрокрекинга вакуумного газойля обычно состоят из представленных ниже компонентов:

1. кислотного компонента (аморфного или кристаллического алюмосиликата, который, в свою очередь способен обеспечить расщепление и изомеризацию на катализаторе);
2. металла или совокупности металлов в восстановленной, оксидной или сульфидной форме, обеспечивающих гидрирующую и расщепляющую функции;
3. связующего, способного обеспечить механическую прочность и оказать влияние на формирование пористой структуры катализатора [8].

Способность превращения углеводородов, непосредственно входящих в состав данного сырья (гидрогенолиз парафинов и нафтенов, а также гидродеалкилирование алкилполициклических соединений и гидрирование ароматических углеводородов, гидрогенолиз гетероорганических соединений) определяет бифункциональность катализаторов процесса гидрокрекинга.

На рис.1.4 представлен механизм превращения парафинов и олефинов в процессе гидрокрекинга. Это иллюстрирует бифункциональность катализаторов.

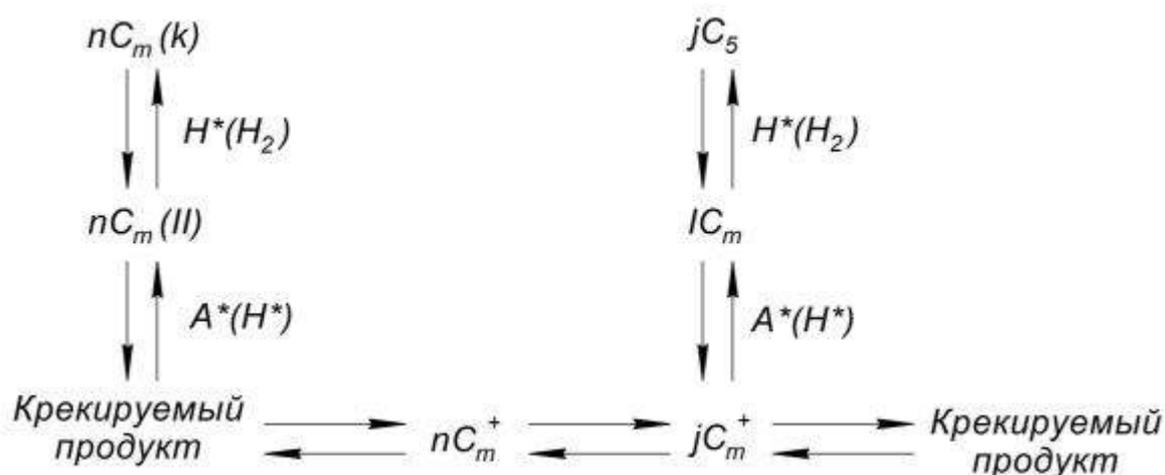


Рисунок 1.4 – Механизм процесса гидрокрекинга

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

В промышленности используются различные типы катализаторов, однако, наиболее популярными являются цеолитсодержащие и аморфные (металлосиликатные или оксидно-сульфидные).

На сегодняшний день, запатентованные промышленные катализаторы процесса гидрокрекинга разных марок и брендов отличаются между собой химическим составом, но гидрирующим металлом в них являются все те же никель, кобальт, молибден, вольфрам.

Твердые кислоты, зачастую входящие в состав катализатора крекинга являются кислотным компонентом и выполняют функцию крекинга, изомеризации. Примерами являются: оксид алюминия, цеолиты и алюмосиликаты. Для усиления кислотности в катализаторы вводятся галогены. А для их активации в гидрокрекинге используют также различные промоторы, например: рений, родий, иридий и др. Кислотные компоненты также выполняют связующие функции, образцами принято считать: (оксиды магния, титана, циркония, алюминия, кремния и также алюмосиликаты).

Исходя из этого, можно сделать вывод, что катализаторы процесса гидрокрекинга с оптимальной гидрирующей и большой кислотной активностью обеспечивают:

1. малый выход легких парафинов $C_1 - C_3$;
2. большое содержание $i-C_4$ (вплоть до 70 - 80 %) в бутановой фракции;
3. большое содержание изомеров (до 95 %) во фракциях $C_5 - C_6$, а это обеспечивает октановое число легкого бензина (до 85 %) в пределах около 86 - 88;
4. содержание во фракции C_7 и выше до 50 % нафтеновых углеводородов (может применяться как качественное сырье для процесса риформинга);
5. большое содержание изопарафинов и малое содержание бициклических ароматических углеводородов в керосиновых фракциях, что обеспечивает получение высококачественных топлив для реактивных двигателей;
6. небольшое содержание ароматических углеводородов в дизельных фракциях, которые в свою очередь почти полностью состоят из производных циклопентана и циклогексана, а также имеют большие цетановые числа и относительно малые температуры застывания.

Особое внимание уделяется на сегодняшний день катализаторам с цеолитной основой, ведь они обладают высокой гидрокрекирующей активностью и замечательной избирательностью.

Если говорить про переработку тяжелого сырья, то в такой переработке большую опасность для дезактивации катализаторов процесса гидрокрекинга составляют, кроме азотистых соединений, также никель и ванадий. Именно поэтому гидрокрекинг такого сырья, с содержанием значительного количества гетеро- и металлоорганических соединений, обязательно проводится в две или даже более стадий. На первой стадии, как правило, проходит процесс гидроочистки и поверхностно - неглубокий гидрокрекинг так называемых

полициклических ароматических углеводородов. Катализаторы на этой ступени (или на этом этапе) идентичны по своей структуре катализаторам процесса гидроочистки. На втором этапе сырье, ранее облагороженное, перерабатывают на катализаторе с высокой кислотной и гидрирующей активностью.

В гидрокрекинге нефтяных остатков есть смысл начальное сырье подвергнуть сначала предварительной деме­таллизации и обессериванию на таких катализаторах как: серо- и азотостойкие, причем они должны быть с высокой металлоемкостью и достаточной высокой гидрирующей активностью. А крекирующая активность должна быть низкой.

В процессе селективного гидрокрекинга катализаторами могут являться модифицированные цеолиты. Их примерами являются морденит, эрицит и другие). Их особенностью является специфическое молекулярно-ситовое действие, если говорить точнее, то поры цеолитов доступны только для молекул нормальных парафинов. Дегидро - гидрирующие функции в катализаторах такого типа выполняют металлы и соединения такие же, как и при гидроочистке.

Одним из главных направлений развития процесса гидрокрекинга дистиллятного сырья можно считать создание высокоэффективных стабильных, легко поддающихся регенерации катализаторов. В наше время вместе с модифицированными аморфными катализаторами также широко используются и цеолитные катализаторы. Применение цеолитных катализаторов в гидрокрекинге производят с целью получения максимального количества бензина, а также такие катализаторы позволяют перейти от двухступенчатой схемы к одноступенчатой, тем самым исключают стадию фракционирования после первого этапа (первой ступени). Цеолитсодержащие катализаторы позволяют добиться максимального выхода средних дистиллятов и также обеспечивают высокую гибкость при проведении процессов в менее жестком режиме работы.

Несмотря на это, широкое использование процесса гидрокрекинга удерживается высокими дорогостоящими капиталовложениями и затратами на

эксплуатацию. Все это обусловлено необходимостью проведения гидрокрекинга под высоким давлением с сопровождением большого расхода по водороду. В таких случаях интенсивно находят свое место процессы легкого гидрокрекинга, они происходят при давлении менее 10 МПа и позволяют получить достаточно высокий выход по средним дистиллятам, а также большой выход по количеству высококачественного сырья каталитического крекинга и риформинга. Популярными на сегодняшний день катализаторы гидрокрекинга позволяют реализовать процесс на обычных установках гидроочистки вакуумного газойля при их малой реконструкции.

Процесс гидрокрекинга можно считать одним из наиболее успешных и перспективных процессов переработки тяжелого дистиллятного и остаточного сырья. В последнее время проводятся работы по улучшению процессов гидрокрекинга остатков, основанных на применении реакторов с кипящим, суспендированным и стационарным слоем катализаторов. Несмотря на это, из-за высокой скорости дезактивации катализаторов примесями, находящимися в остаточном сырье, гидрокрекинг на стационарном слое проводить невыгодно по экономическим соображениям. Можно предотвратить спад активности катализаторов процесса гидрокрекинга некоторыми способами, такими как:

1. Применение установок гидрокрекинга с использованием низких степеней превращения. Такой метод характерен для легкого гидрокрекинга с переработкой остатков на установках гидрообессеривания. Существуют различные варианты включения установок легкого гидрокрекинга остатков в общую схему нефтеперерабатывающих заводов, однако эти варианты должны обеспечивать высокую гибкость в отношении производства моторных топлив, примером можно считать легкий гидрокрекинг в совокупности с последующей деасфальтизацией или термической обработкой.

2. Заранее облагороженное сырье деасфальтизацией растворителем, а также термической или гидрогенизационной обработкой. Примером можно считать коксование и висбрекинг.

В нефтеперерабатывающей промышленности на сегодняшний день наибольшее использование получило сочетание гидрокрекинга с заранее деасфальтированными растворителем остатками и последующая переработка деасфальтизата с асфальтитом. Для утилизации отходов последнего кроме обычных традиционных способов, таких как сжигание и парокислородная газификация, также существует способ гидрокрекинга асфальтита на гомогенном катализаторе, ведь с его помощью достигается большая степень деметаллизации (до 90 %) и конверсии (от 70 % до 80 %) асфальтенов. Но при переработке остатков и тяжелой нефти с содержанием в себе металлов более 500 мг/кг деасфальтизация растворителем в качестве ступени подготовки сырья неэффективна. Для этого используют процессы каталитической гидроасфальтизации и гидродеметаллизации [8].

В гидрокрекинге жидкий раствор обладает высокой активностью и селективностью по отношению к конечному продукту. Каталитическая активность может снижаться из-за образования кокса, осаждения нежелательных продуктов, металлов и асфальтенов на поверхности катализатора. Термическая обработка вызывает изнашивание катализатора и способствует его дезактивации. В зависимости от физических свойств катализатора их подразделяют на две категории: гомогенные и гетерогенные. Первый тип растворим в воде, второй – растворим в масле. Оба используются в процессе гидрокрекинга и характерны для жидкого раствора [9].

При использовании твердых порошковых катализаторах кобальт и молибден наносится на катализаторы из углеродных трубок в различных соотношениях и происходит подготовка катализатора методом пропитки. Были проведены исследования, которые показали, что с заранее подготовленным катализатором в объеме 500 мл при температуре 430 °С и давлением водорода 8 МПа наблюдалась высокая каталитическая активность в реакторе. После этого соотношение кобальта и молибдена было уменьшено вдвое, результат по значению каталитической активности стал более благоприятным. В другом опыте напыление было на основе никеля и сульфида молибдена. Эксперимент

проводился в интервале температур от 350 °С до 450 °С в течение двух часов при начальном давлении водорода 5 МПа. Полученные продукты отличались от результатов первого опыта. На основе полученных результатов был сделан вывод о том, что интервал температур проведения опыта и реакции, протекающие в несколько стадий являются более выгодными, поскольку на первой стадии (около 390 °С) удаляется большинство осадков, в то время как на второй стадии (430 - 450 °С) образуются дистиллятные продукты [10]

Одной из основных проблем каталитических процессов на производстве является дезактивация катализаторов. Дезактивация поглощает вплоть до 90 % средств на разработку и эксплуатацию каталитических процессов. Если снизить активность катализатора, можно добиться снижения мощности установок, а значит и снижения селективности, т.е. перерасход сырья и энергии, однако также снизится и качество целевого конечного продукта. Найти выход из данной ситуации непросто, так как присутствуют экспериментальные и методологические трудности. При проведении кинетических экспериментов на лабораторных и промышленных установках, замечено, что они слишком длительны, затратны и порой иногда невозможны. Дезактивация катализатора, как правило, вызывается несколькими явлениями одновременно, а именно отравлении, закоксовыванием, спеканием и др. Исключительно высока необходимость в использовании надежных моделей дезактивации, так как с помощью экспериментов определить режим работы с оптимальными параметрами для нормальной эксплуатации катализатора слишком дорого экономически.

Одной из важных и часто встречающихся на производстве проблем является дезактивация катализатора вследствие его отравления серо- и азотсодержащими соединениями, помимо этого происходит и коксообразование. Катализаторы процесса гидрокрекинга чувствительны к содержанию серы в исходных сырьевых фракциях. Вследствие этого для осуществления нужного и требуемого качества продукции, а также для стабильной работы промышленных установок катализаторы процесса

гидрокрекинга совмещают с катализаторами процесса гидроочистки. Стадии гетерогенного каталитического процесса включают [11]:

- диффузию к внешней поверхности катализатора;
- диффузию к внутренней поверхности катализатора;
- адсорбцию реагентов (как химическую, так и физическую);
- химическую реакцию на поверхности;
- десорбцию продуктов с поверхности;
- диффузию продуктов внутри пор катализатора к поверхности зерна;
- диффузию продуктов с поверхности зерна в газ, окружающий катализатор.

катализатор.

Обзор литературы в части катализаторов, применяемых для процесса гидрокрекинга нефтяного сырья, показал, что разнообразие разработанных к настоящему времени каталитических композиций обуславливает различные соотношения выходов продуктов, различную скорость и допустимую степень их дезактивации, затраты на проведение процесса и регенерацию дезактивированного катализатора. Исходя из этого, при моделировании процесса гидрокрекинга необходимо учитывать свойства применяемого катализатора.

1.4 Постановка цели и задач исследования

Обзор литературы показал, что в настоящее время процесс гидрокрекинга вакуумного газойля является ключевым процессом гидропереработки, используемым и активно внедряемым на российские нефтеперерабатывающие заводы для повышения глубины переработки нефти и производства светлых нефтепродуктов, обладающих высокой добавленной стоимостью, а также соответствующих современным стандартам качества.

Выявлено, что с химической точки зрения процесс представляет собой сложную, многостадийную схему последовательных и параллельных превращений реагентов и промежуточных веществ на бифункциональном

катализаторе. Кроме того, наличие различных разработок в части технологического оформления процесса не позволяет разработать универсальную математическую модель процесса, пригодную для использования на установках с различной технологической конфигурацией процесса. Широкий ассортимент катализаторов с различными составами и свойствами, разработанных для процесса гидрокрекинга, а также быстрая дезактивация катализатора вследствие отравления примесями серо- и азотсодержащих соединений, металлов, которые присутствуют в значительных количествах в тяжелом сырье процесса, оказывает значительное влияние на соотношение выходов продуктов, производственные затраты. Все указанные факторы процесса обуславливают необходимость дальнейшего изучения процесса гидрокрекинга.

Таким образом, целью работы является исследование процесса гидрокрекинга нефтяного сырья.

Для достижения указанной цели в работе были поставлены следующие задачи:

1. Сбор и обработка априорной информации об объекте исследования – процессе гидрокрекинга вакуумного газойля.
2. Проведение термодинамического анализа реакций процесса гидрокрекинга
3. Разработка формализованной схемы превращений углеводородов в процессе гидрокрекинга
4. Разработка кинетической модели процесса гидрокрекинга
5. Проведение расчетов на модели

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

На данный момент перспективы развития экономики России значительно зависят от нефтяной промышленности. А научные исследования, которые проводятся для поиска различных способов совершенствования существующих ныне технологий, являются основанием для стратегического развития нефтеперерабатывающей промышленности в целом. Для долгого планирования работы любого нефтеперерабатывающего предприятия необходимо учесть не только определенные размеры завода, но и объем инвестиций, которые, в свою очередь, вкладывают различные предприниматели в процессы подготовки и переработки с учетом переменного состава нефти. Международный рынок нефтепереработки обязывает находить новые, коммерчески конкурентоспособные решения для устранения главных проблем на НПЗ.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является не только расчет бюджета научного исследования, но и оценка его перспективности и эффективности на рынке с позиции энерго- и ресурсосбережения.

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

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для оценки потенциальных пользователей результатов исследования, нужно произвести оценку целевого рынка и его сегментирование по наиболее существенным признакам. В данной работе результатом моего исследования является современная компьютерная моделирующая система, которую можно использовать, соответственно, как программу на предприятии (производстве); обучающая программа в образовательных учреждениях; Но еще она может являться инструментом для выполнения индивидуальных расчетов для

предприятий-заказчиков. Поэтому необходимо составить карту сегментирования целевого рынка (рис.5.1) по продажам компьютерных моделирующих систем (КМС).

Потребитель	Вид услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа электронного тренажера
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Мелкие НПЗ			
Образовательные учреждения			
Проектные институты			

Рисунок 5.1 – Карта сегментирования рынка услуг по применению КМС

- Aspen Technology (Hysys)



- Schneider Electric, SimSci (Pro II)



- Термогаз (ГазКондНефть)



Для составления этой карты приведены три фирмы, занимающиеся разработкой симуляторов перерабатывающих и подготовительных процессов в нефтехимии. Как показано на карте, эти кампании в основном связаны с разработкой и продажей своего программного обеспечения (ПО) для крупных

предприятий, образовательных учреждений и проектных институтов. Также необходимо учесть, что доля моделирующих утилит для процессов промышленной подготовки в этих программах немного выше, чем для процессов переработки, так как они проще. Ни в одну из КМС данных фирм не входит процесс каталитического гидрокрекинга. Исследованием процессов и их мониторингом занимаются инженеры-технологи на производстве с применением данного программного обеспечения, сами фирмы оптимизацией занимаются редко. Также хочется отметить, что данные компании не распространяют электронные тренажеры для обучения как инженерно-технического персонала, так и обучающихся по соответствующим программам обучения. Исходя из перечисленного выше, можно подвести итог, что наиболее перспективными на рынке КМС являются направления создания доступных по цене и качеству моделирующих систем, имеющих функции мониторинга и оптимизации действующих производств, а точнее, процесса каталитического гидрокрекинга, но также возможность проведения прогнозирующих расчетов для действующих и строящихся предприятий (производств). Такие системы могут быть использованы как в качестве полноценных симуляторов, так и в виде упрощенных тренажеров для образовательных целей.

5.1.2 Диаграмма Исикавы

Диаграмма Исикавы (Диаграмма причины-следствия)– это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления. Данная диаграмма используется для выявления причин возникновения проблем, анализа и структурирования проекта, а также для оценки причинно-следственных связей. Основной проблемой при разработке математической модели действующего промышленного процесса является неадекватность полученной модели экспериментальным данным с установки. К факторам, влияющим на объект

анализа, можно отнести: персонал, оборудование, технологию проведения работ.

Причинно-следственная диаграмма представлена в Приложении А.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для составления плана предполагаемого комплекса работ была определена последовательность действий [19]:

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

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения данного исследовательского проекта, проведено распределение исполнителей по видам работ.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ отражен в таблице 5.1

Таблица 5.1 – перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер, Научный руководитель
	1	Проведение патентных исследований	Инженер

Продолжение таблицы 5.1

	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер,
	1	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	1	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	1	Расчет термодинамических и кинетических параметров в программе Gaussian	Инженер
	1	Изучение и анализ исходных свойств молекул сырья	Инженер
	3	Сопоставление результатов исследованиям	Инженер Руководитель
	1	Анализ динамики изменения свойств, подтверждение достоверности результатов	Инженер
Обобщение и оценка результатов	2	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер Руководитель
	1	Оформление отчета о проделанном эксперименте	Инженер

Полученная таблица дает полное представление о структуре работ в рамках данного исследования применения математического моделирования в процессе гидрокрекинга.

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Значительную часть стоимости исследования составляют трудовые затраты, поэтому ключевым моментом является расчет трудоемкости работ каждого из участников исследования.

Расчет трудоемкости производится в человеко-днях и носит вероятностный характер, в силу того, что необходимо учесть при расчете большое количество факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула [20]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}$$

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

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

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

- Расчет трудоемкости составления технического задания

$t_{\min\ i}$ составляет 2 чел-дней;

$t_{\max\ i}$ составляет 5 чел-дней;

$$t_{ож\ i} (\text{Инж}) = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5} = 3,2 \text{ чел} - \text{день} .$$

- Расчет трудоемкости подбора и изучения материалов

$t_{\min\ i}$ составляет 12 чел-дней;

$t_{\max\ i}$ составляет 40 чел-дней;

$$t_{ож\ i} (\text{Рук}) = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5} = 23 \text{ чел} - \text{день} .$$

- Расчет трудоемкости теоретических расчетов и обоснований

$t_{\min i}$ составляет 5 чел-дней;

$t_{\max i}$ (Э) составляет 16 чел-дней;

$$t_{\text{ожі}} (\text{Э}) = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = 9,4 \text{ чел} - \text{день} .$$

- Расчет трудоемкости расчета термодинамических и кинетических параметров

$t_{\min i}$ составляет 1 чел-дней;

$t_{\max i}$ (Э) составляет 4 чел-дней;

$$t_{\text{ожі}} (\text{Э}) = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = 2,2 \text{ чел} - \text{день} .$$

- Расчет трудоемкости экспериментальной части исследования

$t_{\min i}$ составляет 14 чел-дней;

$t_{\max i}$ составляет 36 чел-дней;

$$t_{\text{ожі}} (\text{Э}) = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = 22,8 \text{ чел} - \text{день} .$$

- Расчет трудоемкости анализа результатов эксперимента

$t_{\min i}$ составляет 19 чел-дней;

$t_{\max i}$ составляет 42 чел-дней;

$$t_{\text{ожі}} (\text{Э}) = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = 28,2 \text{ чел} - \text{день} .$$

- Расчет трудоемкости оформления отчета о проделанной работе

$t_{\min i}$ составляет 5 чел-дней;

$t_{\max i}$ составляет 12 чел-дней;

$$t_{\text{ожі}} (\text{Э}) = \frac{3t_{\text{min } i} + 2t_{\text{max } i}}{5} = 7,8 \text{ чел} - \text{день} .$$

- Расчет продолжительности каждой работы T_p (учитывается параллельность выполнения работ несколькими рабочими)

Расчет проводится по формуле [21]:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i}$$

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

T_p составления технического задания составит 3,2 дня.

T_p подбора и изучения материалов составит 7,7 дней.

T_p теоретических расчетов и обоснований составит 9,4 дней.

T_p расчета термодинамических и кинетических параметров составит 2,2 дня .

T_p экспериментальной части исследования составит 22,8 дней.

T_p анализа результатов эксперимента 9,4 дней.

T_p оформления отчета о проделанной работе 7,8 дней.

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [22].

Для построения графика длительность каждого этапа исследования была переведена в календарные дни формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

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 [21]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}$$

Коэффициент календарности численно равен 1,22

Рассчитанные временные показатели проведения научного исследования приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Временные показатели проведения исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители			Длительность работ в рабочих днях			Длительность работ в календарных днях		
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ожг}}$, чел-дни	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление технического задания	2	5	3,2	Руководитель			3,2			3,9		
Подбор и изучение материалов	12	40	23	Руководитель Инженер			7,7			9,39		
Теоретические расчеты и обоснования	5	16	9,4	Инженер			9,4			11,47		

Продолжение таблицы 5.2

Создание модели	1	4	2,2	Инженер	2,2	2,68
Экспериментальная часть исследования	14	36	22,8	Инженер	22,8	27,82
Анализ результатов эксперимента	19	42	28,2	Инженер Руководитель	9,6	11,71

На основе данной таблицы составлен календарный план-график

В таблице 5.3 приведен календарный план график проведения НИОКР по изучению использования математического моделирования в процессе гидрокрекинга нефтяного сырья.

Таблица 5.3 – календарный план-график проведения НИОКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				январь		февраль			март			Апрель			Май		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель	5	■													
2	Подбор и изучение материалов	Инженер руководитель	12		■		■										

5.2.4.1 Расчет материальных затрат НИИ

Данный подраздел включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [20]:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{рас\ xi}$$

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

$N_{рас\ xi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T) принимается как 15% от стоимости материала.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Материальные затраты проекта

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z_m), руб.
Блокнот	рубель	3	50	150
Ручка	рубель	10	21	210
Бумага	рубель	2	321	642
Флеш-карта	рубель	1	670	670
Компьютер	рубель	1	13000	13000
Принтер(МФУ)	рубель	1	4500	4500
Картридж для принтера (ч/б)	рубель	1	2280	2280

Продолжение таблицы 5.4

Итого	21452
-------	-------

По данным из приведенной выше таблицы можно судить о материальных затратах проекта.

5.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 5.5

Таблица 5.5 – Расчет затрат на специальное оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования.руб	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	ПО Microsoft office	1	4100	4100
2.	ПО Microsoft Visio	1	7200	7200
3.	ПО Delphi	1	44500	44500
4.	Антивирус Kaspersky	1	2850	2850
Итого				58650

По представленной выше таблице можно судить о затратах проекта на специальное оборудование.

5.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В представленной ниже таблице посчитана основная заработная плата, в ходе научно исследовательского проекта, работников принимавших участие в разработке данного исследования.

Оклад работников на 2019 год (в рублях)

- Инженер:26300
- Руководитель:33664

Таблица 5.6 – расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям			Трудоемко сть, чел.- дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.- дн, тыс.руб.			Всего заработная плата по тарифу(окладам), тыс.руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Составление ТЗ	Руководитель			3,2			1,406			6,748		
2.	Подбор и изучение материалов	Руководи тель	Инженер		3	20		1,406	0,829		5,062	19,896	
3.	Теоретически е расчеты и обоснования	Инженер			9,4			0,829			9,948		
4.	Эксперимента льная часть	Инженер			22,8			0,829			22,88		
5.	Анализ результатов эксперимента	Инженер	Руководи тель		15	8,2		0,829	1,406		14,9	15,18	
6.	Оформление отчета о проделанной работе	Инженер			7,8			0,829			7,96		
Итого: 99,148													

В таблице 5.6 представлены величины окладов сотрудников, и также приведена ежедневная заработная плата за один рабочий день.

Далее приведена таблица с показателями рабочего времени каждого сотрудника, вычисленная с помощью календарного количества времени и количества нерабочих дней.

Таблица 5.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	2	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	273

Таблица 5.8 – Итоговая таблица расчета основной ЗП руководителя и инженера

Исполнители	З _{мес,руб.}	к _{пр}	к _д	к _р	З _{мес. с надб}	З _{дн, руб}	З _{осн руб}	Тр,раб.дн	З _{осн.руб}
Руководитель	33664	0,3	0,1	1,3	57229	2390	29526	21	50196
Инженер	26300	0,3	0,1	1,3	44710	1703	52052	52	88566

5.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$ (12), где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$Z_{доп} \text{ Рук.} = 6023 \text{ рублей}$

$Z_{доп} \text{ Инж.} = 10628 \text{ рублей}$

5.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данном подразделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников [22].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, численно равный 27,1 %.

Информация об отчислениях во внебюджетные фонды представлена в таблице 5.9

Таблица 5.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	50196	6023
Инженер	88566	10628
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	
Итого = 42116		

Общее отчисление во внебюджетные фонды всех исполнителей проекта в месяц равно 42116 рублей.

5.2.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.10

Таблица 5.10 – Бюджет затрат на данное исследование

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Руководитель	Инженер
1. Материальные затраты НТИ	21452	
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	58650	
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	50196	88566
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	$6023*3=18069$	$10628*5=53140$
5. Отчисления во внебюджетные фонды	42116	
6. Накладные расходы	53150	
7. Бюджет затрат НТИ	385339	

Бюджет затрат на научно-исследовательский проект длительностью в 5 месяцев, учитывая степень задействования каждого сотрудника, составила 385339 рублей.

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

Интегральный финансовый показатель разработки для данной работы равен 1 в силу того, что стоимость *i*-го варианта исполнения численно равна максимальной стоимости исполнения работы.

Интегральный показатель ресурсоэффективности нашего варианта исполнения равен 3,65.

Расчет интегрального показателя проводился на основании данных, представленных в таблице 5.12

Таблица 5.11 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1
1. Способствует увеличению качества производимого товарного бензина и дизельного топлива в стране	0,1	5
2. Удобство в проведении исследования на практике в силу его простоты, не требующей специального обучения	0,2	4
3. Экономичность	0,2	5
4. Низкая себестоимость в сравнении с более дорогими методами подбора	0,3	5
5. Надежность	0,2	5
ИТОГО	1	

Интегральный показатель эффективности данного варианта исполнения разработки ($I_{усп}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя и численно равен 3,65.

Ниже представлена таблица, определяющая эффективность проекта.

Таблица 5.12 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,65
3	Интегральный показатель эффективности	3,65
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1

В данном разделе подробно разобран коммерческий потенциал данного исследования и его перспективы на рынке. Проведена оценка

ресурсоэффективности проделанной работы. Описан и составлен план необходимого комплекса работ.

С учетом причин возникновения проблем, проведенного анализа и структурирования проекта, а также для оценки причинно-следственных связей была построена Диаграмма Исикавы (Диаграмма причины-следствия).

Также представлены результаты планирования научно-исследовательской работы.

С позиции финансовой и ресурсной эффективности, данные показатели позволяют сделать вывод, о том, что выбранный вариант исполнения эффективен.

6 Социальная ответственность

Процесс гидрокрекинга позволяет получать из тяжелых фракций нефти ценные, экологически чистые продукты. Во время протекания процесса катализатор должен поглощать металлы и другие примеси, содержащиеся в сырье

Актуальность в более углубленной переработки нефти увеличивается все больше с каждым годом. Спрос на высококачественные нефтепродукты растет, а уровень добычи нефти снижается. Затраты на добычу и транспортировку нефтепродуктов также растут. Ограниченность запасов нефти приводит к необходимости введения в нефтепереработку тяжёлых и битумных нефтей.

Область применения данного исследования с глобальной стороны затрагивает все географические районы Российской Федерации, нуждающиеся в получении продуктов высокого качества при протекании процесса гидрокрекинга.

Объектом исследования является процесс гидрокрекинга вакуумного газойля

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данном разделе рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и их особенности, применимые к условиям научно – исследовательского проекта по исследованию процесса гидрокрекинга нефтяного сырья с использованием математического моделирования.

6.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны)

правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на:

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

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При выполнении данной исследовательской работы, инженеру было предоставлено рабочее пространство в виде аудитории №133 корпуса №2 ТПУ, соответствующее трудовому кодексу.

- Стол инженера был размещен справа от прохода на расстоянии 300мм.

- Конструкция рабочего стола обеспечивала оптимальное размещение оборудования. Экран компьютера находился на расстоянии 600 мм от глаз пользователя. Рабочее место было оборудовано подставкой для ног шириной 300 мм, глубиной 400 мм.

- Рабочий стул обеспечивал поддержание рациональной рабочей позы при аналитической работе за компьютером. Экспериментальная часть работы проводилась стоя.

- Стул располагался на расстоянии 400 мм от границы рабочего пространства.

- Окна в рабочем помещении ориентированы на северо - восток [23].

6.2 Производственная безопасность

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Согласно ГОСТ 12.0.002 - 2014 установлены специальные положения в сфере обеспечения безопасности трудовой и производственной деятельности необходимые для соблюдения.

Исследование процесса гидрокрекинга нефтяного сырья с использованием математического моделирования может создать вредные и опасные факторы для работников исследования.

В представленной ниже таблице показаны вредные и опасные факторы, которые могут повлиять на работников при проведении исследования [24].

Таблица 6.1 Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)			Нормативные документы
	Разрабо тка	Эксплуа тация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение ГОСТ 12.2.003- 91 СанПин 2.2.4.548-96 ГОСТ 12.1.003-2014 ГОСТ 12.1.007- 76
2.Отсутствие или недостаток естественного и искусственного света на рабочем месте	+	+	

Используя данные таблицы, можно учесть опасные и вредные факторы, которые теоретически могут возникнуть при работе с объектом исследования

6.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве

Далее представлены описания вредных и опасных факторов описанных выше.

- Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственного помещения – это состояние внутренней среды помещения, влияющие на работоспособность посредством температуры и влажности.

В качестве источника возникновения отклонений показателей микроклимата могут выступать: климатические условия снаружи помещения в зависимости от времени года, отключение отопления, неэффективная работа вентиляции.

Воздействие отклонений на человека проявляется в ускоренном переутомлении, при повышении температуры, обморожении и простудных заболеваниях при низких температурах. Также высокая температура способствует пересыханию слизистых оболочек дыхательных путей.

Допустимые нормы температуры и влажности воздуха в рабочей зоне производственного помещения согласно ГОСТу 12.1.005 - 88: в холодный период оптимальная температура составляет 22 – 24 °С при влажности воздуха 40 – 60 %. Допустимая температура составляет 18-26 °С, при влажности воздуха 75 %; в теплый период оптимальная температура составляет 23 – 25 °С при влажности воздуха 40 – 60 %. Допустимая температура составляет 20-30°С при допустимой влажности 55 % (при 28 °С).

Для минимизации воздействия данного фактора предлагаются следующие средства защиты: толщина стен не менее 0,8 метров, вентиляторы, система отопления, спецодежда.

- Отсутствие или недостаток естественного и искусственного света на рабочем месте

Отсутствие или недостаток света в рабочей зоне является важным вредным фактором влияющим на работоспособность и работу инженера.

Источником возникновения недостатка естественного света может служить недостаточное количество окон и светопроемов, обеспечивающих допустимый коэффициент освещенности.

Источником возникновения недостатка искусственного света может служить в отдаленности освещения от рабочего места, невозможность управления световым потоком, перепады напряжения сети питающей осветительные приборы.

Воздействие фактора недостатка света на организм человека может проявляться в ухудшении зрительного функционирования, воздействии на психику и эмоциональное состояние человека, вызывании усталости центральной нервной системы. Следует отметить, что качество освещения также влияет на предотвращение воздействия вредного фактора.

Неравномерное освещение провоцирует проблемы адаптации, снижая видимость.

Допустимые нормы освещенности рабочего помещения согласно ГОСТу Р 55710 - 2013: значение освещенности в зоне непосредственного окружения составляет не менее 500 лк; равномерность освещенности составляет не менее 0,60; объединенный показатель дискомфорта составляет не более 19; коэффициент освещенности не должен превышать 10 %.

Для минимизации вредного воздействия освещенности необходимо прибегать к таким средствам защиты как: приобретение дополнительных светильников, использование ламп работающих от переменного тока частотой 400 Гц и выше [25].

6.2.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов

Для обеспечения снижения влияния опасных и вредных факторов на работающих могут быть предприняты следующие решения:

- Систематический осмотр помещения, в котором проводят исследование, на наличие вышедших из строя осветительных приборов;
- Осмотр систем отопления, проверка толщины стен, проверка утеплителя в холодное время года;
- Систематическая проверка влажности на предмет отклонения от допустимой нормы;
- Установка термометра для определения возможного отклонения от допустимых показателей температуры на рабочем месте;
- Систематическая проверка вентилятора и вытяжки на предмет некорректной работы [26].

6.3 Экологическая безопасность

Согласно технологии гидрокрекинга используются материалы, сырье, вспомогательные компоненты и получаются продукты, которые имеют различное агрегатное состояние при нормальных условиях.

Таким образом, в случае возникновения различных техногенных и случайных аварийных ситуаций вредное воздействие предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности распространяется на атмосферу, гидросферу и литосферу.

Для борьбы с загрязнением атмосферы на установке применяют следующие меры: воздух, с компрессорных установок проходит очистку в центробежных циклонах, после чего сбрасывается в атмосферу; газы, которые не могут быть использованы в дальнейшем для переработки подаются на факельную установку; каталитический дожиг выбросов; использование котлов утилизаторов для использования тепла отходящих газов с целью снижения теплового загрязнения атмосферы.

Защита гидросферы. Ввиду высокого запаса объема канализационных емкостей, свыше 50 тыс. м³ на соседних установках, то загрязнения гидросфере нанесено не будет, поскольку в случае аварийных ситуаций, весь жидкий продукт и сырье будут сброшены в систему заводской канализации, а газы на факел высокого давления. Также на установке имеется блок очистки воды от кислых солей в нейтрализационных бассейнах, что обеспечивает отсутствие возможности пролива кислых вод, а также их накопление на установке.

Защита литосферы. Наиболее главным твердым отходом установки является отработанный катализатор риформинга. Ранее его после использования полного ресурса утилизировали путем захоронения в герметичных запаянных металлических бочках. На сегодняшний день весь отработанный катализатор установки отправляется на переработку, в частности катализатор риформинга перерабатывают с полным восстановлением исходных функций на отечественных заводах производства катализаторов.

В таблице 6.2 виды отходов и способы их утилизации по технологическому регламенту.

Таблица 6.2 – Виды отходов и способы их утилизации [27]

Наименование отхода	Способ хранения отхода	Способ утилизации
Лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства	В закрытой таре отдельно (тара завода - изготовителя)	Накопление осуществляется на месте образования на специально отведенном для этого складе. Далее отходы передают на обезвреживание.
Спецодежда из натуральных синтетических, искусственных и шерстяных волокон, загрязненная нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов менее 15 %)	В закрытой таре в смеси (контейнер $У=0.1\text{ м}^3$, 4 шт)	По мере накопления вывозятся для захоронения на полигон ТБО
Мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)	В закрытой таре в смеси (контейнер $У=0.7\text{ м}^3$, 3 шт)	Накопление осуществляется в металлических контейнерах. По мере накопления вывозятся для захоронения на полигон ТБО.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данном подразделе представлен анализ возможных чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть при разработке исследования по исследованию процесса гидрокрекинга нефтяного сырья с использованием метода математического моделирования или эксплуатации данного исследования на производстве [28].

6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Ниже представлены возможные чрезвычайные ситуации, которые может инициировать объект исследования:

- Техногенного характера (аварийная ситуации в лаборатории);
- Социального характера (террористический акт);

Наиболее типичной и опасной является ЧС техногенного характера.

Самый вероятный тип ЧС который может произойти в помещении – возгорание ПК [29].

6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве

Ниже представлены возможные чрезвычайные ситуации, которые может возникнуть при внедрении данного исследования в производство:

- Техногенного характера (аварийная ситуации);
- Социального характера (террористический акт);
- Стихийного характера (лесные пожары, наводнения, ураганные ветры).

Также наиболее типичной ЧС будет являться ситуация техногенного характера, теоретически вызванная выходом из строя отсеков с хранением продуктов процесса гидрокрекинга, самовозгоранием топлива, пожаром на производстве [30].

6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Мероприятия по предотвращению чрезвычайных ситуаций представлены ниже согласно ГОСТу 22.0.04 – 97:

- Систематическая диагностика оборудования;
- Обслуживание и ремонт вентиляторов, вытяжных шкафов, осветительных приборов;
- Наличие современных сигнализаций и приборов контроля в помещении для исследования;
- Систематический инструктаж персонала;
- Планы поддержания рабочего состояния лаборатории после чрезвычайной ситуации или катастрофы;
- План реагирования в случае террористических действий;
- План реагирования на биологические, химические и радиологические инциденты в лаборатории [31].

В данном разделе были подробно разобраны правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности сотрудников касательно проектирования оптимально комфортной рабочей зоны. Произведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в результате работы над исследованием процесса гидрокрекинга нефтяного сырья с использованием метода математического моделирования. Также было показано как предотвратить возникновение опасных факторов и теоретически возможных чрезвычайных ситуаций

Практическая значимость полученных нами данных о социальной ответственности состоит в понимании вредных и опасных факторов с которыми могут столкнуться работники, а также умение выйти из различных чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть при проведении данного исследования или при его применении на производстве.

Заключение

Повышение глубины переработки нефти и улучшение качества готовых нефтепродуктов, а также вовлечение в нефтепереработку всё более тяжелой и высокосернистой нефти обуславливает рост мощностей гидрокрекинга.

Процесс гидрокрекинга дает возможность производить широкий выбор конечных продуктов. С помощью данного процесса получают высококачественные дизельные и керосиновые дистилляты, путем проведения крекинга углеводородов сырья. Процесс протекает в присутствии водорода с использованием бифункциональных катализаторов.

Основная проблема, возникающая при эксплуатации промышленных установок данного процесса, это сложность оптимизации технологических параметров ввиду сложного углеводородного состава сырья, технологических условий и дезактивации катализатора.

Создание компьютерных математических моделей, способных описывать процессы и предсказывать изменение состояние наблюдаемых систем является особенностью современных научных методов по изучению физико-химических процессов и технологических систем.

Поддерживая определенные технологические режимы, можно получать высокое качество получаемых конечных нефтепродуктов.

Оптимизировав режимы эксплуатации оборудования, используемого в промышленности, появится возможность повысить как выход конечной выпускаемой продукции, так и ее качество.

В процессе работы были использованы лабораторные данные по групповому составу сырья и продукта процесса гидрокрекинга, разработана новая схема превращения углеводородов. Математическая модель составлена на основе термодинамических, кинетических закономерностей основных и побочных реакций процесса.

Разработанная модель может использоваться на промышленной установке для прогнозирования состава продуктов при текущем режиме, а

также определять оптимальные параметры процесса в зависимости от состава сырья.

Список использованных источников

1. Маков В.М. Анализ состояния нефтеперерабатывающей промышленности Российской Федерации // Вестник экономики и менеджмента. – 2017. – 2(8). – С. 58-67.
2. Зырянова И.В., Назарова Г.Ю. Определение группового состава вакуумного газойля // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 155-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 135-летию академика М.А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы и 110-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири. Том X: 116 Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – 401 с.
3. Seirvert I.M, Claerbout A.P, Blom N., Derouane E.G., Catal J. A review of recent advances in catalytic hydrocracking of heavy residues. – 1996. – Vol 164. – P. 21–22.
4. Каминский Э.Ф., Хавкин В.А. Глубокая переработка нефти. Технологический и экологический аспекты. М.: Издательство «Техника». ООО «ТУМА ГРУПП», 2001. – 384 с.
5. Хавкин В.А., Чернышёва Е.А., Гуляева Л.А. Гидрогенизационные процессы получения моторных топлив. Уфа: ГУП ИНХП РБ, 2013. – С. 4-7.
6. Белинская Н.С. Совершенствование работы сопряженной системы «реактор – колонна стабилизации» процесса каталитической депарафинизации дизельных фракций нефти методом математического моделирования: дисс. ...канд. техн. наук. – Томск, 2015. – 170 с.
7. Р.А. Мейерс (ред.). Основные процессы нефтепереработки. Справочник: пер. с англ. 3-го изд. / [Р.А. Мейерс и др.]; под ред. О.Ф. Глаголевой, О.П. Лыкова. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 944 с.
8. Капустин В.М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти. Часть вторая. Деструктивные процессы: Учебники и учебные пособия для студентов вузов – Москва: Колос, 2007. – 334 с.

9. Kouzu M., Kuriki Y., Uchida K. *Energy Fuels*. – 2005. – Vol 25. – P. 19.
10. Mochida I., Zhao X.Z, Sakanishi K. *Catalytic Two-Stage Hydrocracking of Arabian Vacuum Residue at a High Conversion Level without Sludge Formation*. – 1990. – P. 334-337.
11. Сибаров Д.А., Смирнова Д.А. Катализ, каталитические процессы и реакторы: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2016. – 200 с.
12. Капустин В.М., Рудин М.Г. Химия и технология переработки нефти. Учебники и учебные пособия для студентов вузов. 2013. – 496 с.
13. Сталл Д., Вестрам Э., Зинке Г. Химическая термодинамика органических соединений. – М.: Мир, 1971. – 806 с.
14. Татевский В.М. Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 412 с.
15. Полещук О.Х., Кижнер Д.М. Химические исследования методами расчета электронной структуры молекул: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2006. – 146 с.
16. Загоруйко А.Н. Основы математического моделирования каталитических реакторов. учебно-методическое пособие. – Новосибирск. Редакционно-издательский центр НГУ , 2015. – 64 с.
17. Dutriez T., Thiébaud D., Courtiade M., Dulot H., Bertoncini F., Hennion M. C. Application to SFC-GCxGC to heavy petroleum fractions analysis // *Fuel*. – 2013. – V. 104. – P. 583–592.
18. Belinskaya N.S., Frantsina E.V., Ivanchina E.D. Unsteady-state mathematical model of diesel fuels catalytic dewaxing process // *Catalysis Today*. – 2019. – Vol. 329. – P. 214-220.
19. Кузьмина Е.А., Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений // *Методы менеджмента качества*. – 2003. – № 1. – С. 22-27.
20. Кузьмина Е.А., Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. // *Методы менеджмента качества*. – 2002. – № 7. – С. 14-20.
21. Основы функционально – стоимостного анализа: Учебное пособие под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. – М: Энергия, 1980 – 175 с.

22. Скворцов Ю.В. Организационно – экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
23. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) : учебник для академического бакалавриата / С. В. Белов. - 5-е изд., перераб. и доп.. – Москва: Юрайт ИД Юрайт, 2015. – 703 с.
24. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П.П. Кукин и др. – 5-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2009. – 335 с.
25. Надзор и контроль в сфере безопасности. Радиационная защита: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / В. И. Беспалов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 4-е изд. – Москва: Юрайт, 2016. – 508 с.
26. Давыдов Б.И. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений / Б. И. Давыдов, В. С. Тихончук, В. В. Антипов. – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 177 с.
27. Авраамов, Ю. С. Защита человека от электромагнитных воздействий / Ю. С. Авраамов, Н. Н. Грачев, А. Д. Шляпин. – Москва: Изд-во МГИУ, 2002. – 232 с.
28. Грачёв Н.Н. Защита человека от опасных излучений / Н. Н. Грачёв, Л. О. Мырова. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 317 с.
29. Корнилович О.П. Техника безопасности при электромонтажных и наладочных работах / О. П. Корнилович. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 238 с.
30. Техника безопасности в электроэнергетических установках: справочное пособие / под ред. П. А. Долина. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.

31. Пряников, Виктор Иванович. Техника безопасности в химической промышленности : учебное пособие / В. И. Пряников. – Москва: Химия, 1989. – 288 с.

Приложение А (обязательное)



Приложение А – Причинно-следственная диаграмма