

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование промышленного процесса каталитического риформинга

УДК 665.644.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Ибрагимова Руфина Рустамовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Чузлов Вячеслав Алексеевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Рецензент

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

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

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Кузьменко Е.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д7Г	Ибрагимовой Руфине Рустамовне

Тема работы:

Исследование промышленного процесса каталитического риформинга	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.01.2022 г., №28-91/с

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</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>Технологическая схема и оборудование установки риформинга прямогонной бензиновой фракции</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>	<ul style="list-style-type: none"> 1 Литературный обзор <ul style="list-style-type: none"> 1.1 Теоретические сведения 1.2 Химизм процесса 1.3 Относительные скорости реакций каталитического риформинга и их роль в процессе 1.4 Катализаторы процесса <ul style="list-style-type: none"> 1.4.1 Биметаллические катализаторы 1.4.2 Триметаллические катализаторы 1.4.3 Активность и селективность катализатора 1.5 Влияние основных параметров на процесс риформинга 1.6 Модели риформинга <ul style="list-style-type: none"> 1.6.1 Кинетические модели 1.6.2 Модели деактивации катализатора 1.7 Конфигурации реактора и классификация процессов <ul style="list-style-type: none"> 1.7.1 Реактор с аксиальным вводом сырья 1.7.2 Реактор с радиальным вводом сырья 1.7.3 Полурегенераторный каталитический риформинг (SRR) 1.7.4 Циклический каталитический риформинг 1.7.5 Непрерывный риформинг с регенерацией катализатора (CCR) 2 Объект и метод исследования <ul style="list-style-type: none"> 2.1 Установка каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора 2.2 Метод исследования 3 Исследовательская часть <ul style="list-style-type: none"> 3.1 Исследование углеводородного состава перерабатываемого сырья на свойства производимого риформата 3.2 Исследование влияние температуры процесса на свойства производимого риформата 3.3 Исследование влияния объемной скорости подачи сырья на свойства производимого риформата 3.4 Мониторинг активности промышленного катализатора процесса риформинга 3.5 Прогнозирование активности катализатора
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кацук Ирина Вадимовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.04.2022 г.
---	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	В.А. Чузлов	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Р.Р. Ибрагимова		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д7Г	Ибрагимова Руфина Рустамовна

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

<ol style="list-style-type: none"> <i>1. Оценка конкурентоспособности ИП</i> <i>2. Матрица SWOT</i> <i>3. Диаграмма Ганта</i> <i>4. Бюджет НИ</i> <i>5. Основные показатели эффективности НИ</i> 	
---	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Ибрагимова Руфина Рустамовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 3-2Д7Г		ФИО Ибрагимова Руфина Рустамовна	
Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Исследование промышленного процесса каталитического риформинга	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> установка каталитического риформинга <i>Область применения:</i> нефтеперерабатывающая промышленность <i>Рабочая зона:</i> лаборатория/производственное помещение/полевые условия <i>Размеры помещения</i> 60*80 м <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> колонна, реактор, теплообменник, рефлюксная ёмкость, насос <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль параметров и исправности ПВД дистанционно из кабины, во время плановых обходов оборудования, переключение оборудования</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия пр 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда.</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Опасные факторы: Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. Повышенная температура поверхностей и оборудования; расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли(пола); повышенная температура поверхности и оборудования; сосуды, работающие под давлением.</p> <p>Вредные факторы: 1. Повышенный уровень общей вибрации; 2. Повышенный уровень локальной вибрации; 3. Повышенный уровень шума; 4. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 5. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; 6. Монотонность труда, вызывающая монотонию; 7. Длительное сосредоточенное наблюдение.</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: тепловая изоляция</p>

	трубопроводов, использование защитных костюмов, виброизолирующие рукавицы, перчатки, виброизолирующая обувь, беруши, наушники, защитные ограждения.
3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u>	<p>Воздействие на селитебную зону: заражение нефтепродуктами территории при аварии</p> <p>Воздействие на атмосферу: среди загрязнений воздушной среды выбросами НПЗ основными являются диоксид азота, углерод черный (сажа), оксид углерода, метан.</p> <p>Воздействие на гидросферу: нефти и нефтепродукты, сбрасываемые со сточными водами: сырая нефть, мазут, бензин, керосин, бензол, толуол, ксилол, этилен.</p> <p>Воздействие на литосферу: накапливаются такие выбросы, как углеводороды, нефти оксиды азота, серы, фенол, аммиак, а также тяжелые металлы, вымываемые снегом из атмосферы. Почва загрязняется нефтепродуктами и выбросами этих предприятий в радиусе до 3-х км, и глубиной до 60-80 см.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u>	<p>Возможные ЧС: Взрывы, пожары, разгерметизация трубопровода; протечки в запорно-регулирующей арматуре или в аппаратах; сбой системы электроснабжения; увеличение содержания нефтепродуктов в подтоварной воде; повышенная вибрация насосов; давление на приеме насоса ниже нормы.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: взрывы, разгерметизация трубопровода</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д7Г	Ибрагимова Руфина Рустамовна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 101 страницу, 80 рисунков, 22 таблицы, 22 формулы, 42 источника. Ключевые слова: риформинг, установка, катализатор, реактор, моделирование, мониторинг, математическая модель.

Объект исследования работы является промышленная установка каталитического риформинга.

Целью работы является анализ факторов, которые влияют на качество и выход целевых продуктов процесса каталитического риформинга и повышение эффективности промышленной установки каталитического риформинга.

В процессе исследования было рассмотрено воздействие технологических характеристик на установке каталитического риформинга. В результате исследования подобраны оптимальные условия для проведения процесса каталитического риформинга на технологической установке.

Область применения: нефтехимическая промышленность. Экономическая эффективность в предоставленной работе дает возможность без значимых материальных расходов проводить вычислительные опыты для каталитического риформинга.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	16
1.1 Теоретические сведения.....	16
1.2 Химизм процесса.....	17
1.3 Относительные скорости реакций каталитического риформинга и их роль в процессе.....	19
1.4 Катализаторы процесса	20
1.4.1 Биметаллические катализаторы.....	22
1.4.2 Триметаллические катализаторы.....	22
1.4.3 Активность и селективность катализатора	23
1.5 Влияние основных параметров на процесс риформинга	24
1.6 Модели риформинга.....	27
1.6.1 Кинетические модели.....	27
1.6.2 Модели деактивации катализатора.....	31
1.7 Конфигурации реактора и классификация процессов.....	33
1.7.1 Реактор с аксиальным вводом сырья.....	34
1.7.2 Реактор с радиальным вводом сырья	36
1.7.3 Полурегенераторный каталитический риформинг (SRR)	38
1.7.4 Циклический каталитический риформинг	39
1.7.5 Непрерывный риформинг с регенерацией катализатора (CCR)	40
2 ОБЪЕКТ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ.....	41
2.1 Установка каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора	41
2.2 Метод исследования.....	45
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ.....	48
3.1 Исследование углеводородного состава перерабатываемого сырья на свойства производимого риформата	48
3.2 Исследование влияние температуры процесса на свойства производимого риформата.....	51

3.3 Исследование влияния объемной скорости подачи сырья на свойства производимого риформата	53
3.4 Мониторинг активности промышленного катализатора процесса риформинга.....	56
3.5 Прогнозирование активности катализатора.....	58
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	61
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	61
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	61
4.1.2 SWOT-анализ.....	63
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	66
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	66
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	67
4.3 Бюджет научно-технического исследования	71
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	71
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....	73
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	74
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	77
4.3.5 Накладные расходы.....	77
4.3.6 Определение бюджетной стоимости НИР.....	78
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	79
4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности	80
4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	81
4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	82

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	84
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	85
5.1.1 Производственная безопасность.....	85
5.2 Экологическая безопасность.....	88
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	95
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	98

ВВЕДЕНИЕ

Промышленный процесс каталитического риформинга бензиновых фракций является одним из важных процессов на сегодняшний день нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, которая применяется для производства высокооктановых бензинов.

Перспективным направлением этого процесса в нефтехимической переработке считается повышение эффективности основных процессов производства высокооктановых автомобильных бензинов и приведение их в соответствие с современными экологическими требованиями.

Одним из способов внедрения новейших технологий является создание и использование математических моделей для различных процессов. Математическое моделирование предоставляет выбор оптимальных технологических решений, которые в большей степени используют возможности катализаторов.

Актуальность работы заключается в расчете и изучении различных причин, которые воздействуют на выход целевого продукта и качество каталитического риформинга с использованием модели компьютерной системы, которая позволяет проводить вычислительный эксперимент без значительных материальных и временных затрат. Она возрастает с каждым годом пропорционально растущему спросу на высокооктановые компоненты моторных топлив и источников сырья для нефтехимии.

Целью данной работы является анализ возможных факторов, влияющих на выход целевого продукта и качество процесса, повышение эффективности промышленной установки каталитического риформинга.

Для достижения цели были выполнены следующие задачи:

– изучение методики расчета работ установки каталитического риформинга с применением математической компьютерной системы «Контроль катализатора», на основе неустойчивой кинетической модели;

– анализ степени влияния в изменениях состава исходного сырья и технологических параметров;

– мониторинг посредством анализа сводных таблиц, построения графиков и выдачей практических рекомендаций;

Метод, использованный в расчетах, позволяет решить эти задачи и выбрать идеальные условия для проведения процесса каталитического риформинга.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Теоретические сведения

Каталитический риформинг является одним из главных базовых процессов современной нефтеперерабатывающей промышленности и нефтехимии в целом. Риформинг предназначен для производства высокооктанового компонента моторных топлив, ароматических углеводородов. Риформат - основной компонент при производстве автобензина. Также каталитический риформинг обеспечивает ценным продуктом, таким как водород, который нужен для процессов гидроочистки нефтяных продуктов и другие гидрогенизационные процессы.

Ароматические углеводороды (бензол, толуол, гомологи ксилола) широко применяются для производства пластических масс, синтетических волокон, красителей, моющих средств, фармакологических препаратов и других химических продуктов. В ведущих странах мира уделяется много внимания на совершенствование технологии процесса риформинга и разработке более эффективных катализаторов. В ходе многолетнего процесса состояла в увеличении глубины превращения сырья, селективности ароматизации парафиновых углеводородов и стабильности работы катализаторов.

Основной задачей каталитического риформинга является:

- повышение октанового числа моторных топлив с целью получения неэтилированного высокооктанового бензина;
- получение ароматических углеводородов (толуол, бензол, этилбензол, изомеры ксилола и т.д.);
- получение водосодержащего газа для процессов гидроочистки, гидрокрекинга, изомеризации и т. д.

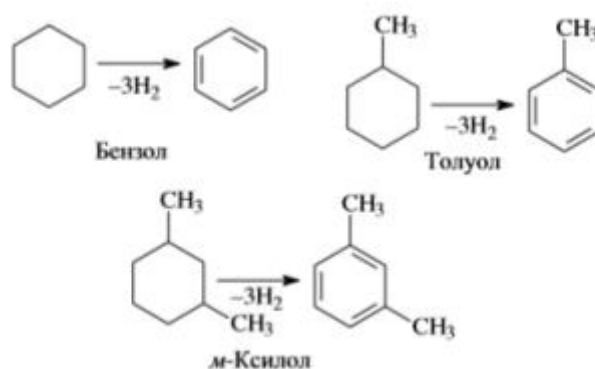
1.2 Химизм процесса

Процесс каталитического риформинга является сложным химическим процессом. Это обусловлено тем, что в состав исходного сырья процесса входят разнообразные бензиновые фракции. В них входит более 160 углеводородов трех основных групп, а именно парафиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды.

Основой процесса риформинга служат три типа реакций. Наиболее значимые реакции с образованием ароматических углеводородов:

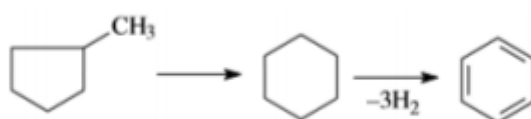
- Дегидрирование шестичленных нафтенов;

1) дегидрирование



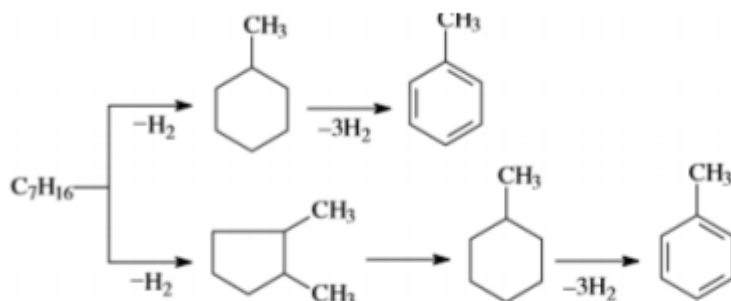
Реакция дегидрирования обратима, и при температурах ниже 300°C равновесие сдвигается влево. С повышением температуры равновесие сдвигается вправо. Повышение температуры способствует образованию ароматических углеводородов, повышение парциального давления водорода препятствует образованию ароматических углеводородов. Реакция сопровождается поглощением большого количества тепла. Реакция эндотермическая.

2) дегидроизомеризации циклопентанов



Скорость реакций изомеризации велика, однако роль этой реакции в повышении октановых чисел совсем незначительна.

3) дегидроциклизации (C5- или C6-дегидроциклизации) парафиновых углеводородов



Дегидроциклизация парафинов является по сути необратимой реакцией, но проходит не так селективно и глубоко, чем дегидрогенизация нафтенов. Она сопровождается гидрокрекингом парафинов.

Также имеющее большое значение реакции риформинга, которые ведут к образованию ароматических углеводородов из нафтенов и парафинов, идут с поглощением тепла, реакции изомеризации нафтенов и парафинов имеют тепловой эффект, близкий к 0, а реакции гидрокрекинга экзотермичные.

В условиях процесса более быстро и легко протекают реакции дегидрирования гомологов циклогексана. В результате этого процесса скорость ароматизации из пятичленных нафтенов приблизительно на порядок ниже. Дегидроциклизация парафинов считается наиболее медленной реакцией ароматизации, ее скорость лимитируется более медлительной стадией циклизации.

Преращения нафтенных и парафиновых углеводородов в ароматические обратимые реакции протекают с поглощением тепла и увеличением объёма. Значит, применив правило Ле-Шателье, равновесная глубина ароматизации увеличится с ростом температуры и понижением парциального давления водорода. Промышленные процессы риформинга вынужденно осуществляют с непрерывной регенерацией катализатора при

пониженных давлениях, или при повышенных давлениях с целью подавления реакций коксонакопления, при этом снижение равновесной глубины ароматизации возмещают увеличением температуры [1].

1.3 Относительные скорости реакций каталитического риформинга и их роль в процессе

Химия каталитического риформинга определяется свойствами применяемых катализаторов:

- наличием у катализаторов двух функций — металлической и кислотной;
- независимостью действия этих функций.

Ароматические углеводороды из парафинов и нафтенов, приводящие к образованию, являются наиболее важными реакциями риформинга, которые происходят при поглощении тепла, реакции гидрокрекинга являются экзотермическими, а реакции изомеризации нафтенов и парафинов имеют тепловой эффект почти равный 0.

Быстрее и легче в условиях каталитического риформинга протекают реакции дегидрирования гомологов циклогексана. Скорость ароматизации пятичленных нафтенов по сравнению с этой реакцией значительно ниже. Дегидроциклизация парафинов - самая медленная реакция ароматизации, скорость которой ограничена наиболее медленной стадией циклизации. Превращение из парафиновых и нафтеновых углеводородов в ароматические - реакции обратимые и проходят с поглощением тепла и возрастанием объема. Следовательно, глубина ароматизации увеличивается с уменьшением парциального давления водорода и ростом температуры, согласно правилу Ле-Шателье. Однако процессы промышленного риформинга должны проводиться либо путем непрерывной регенерации катализатора при низких давлениях, либо при повышенных давлениях, для подавления реакций коксообразования (в данном случае равновесная

глубина ароматизации понижается, компенсирующиеся увеличением температуры).

Ряд главных реакций каталитического риформинга протекает по бифункциональному механизму, в соответствии с которым отдельные стадии одной и той же реакции идут на металлических или кислотных центрах. В начале этот углеводород на металлическом участке дегидрируется до нормального олефина, затем изомеризуется нормальный олефин в кислотном участке до изоолефина, который затем гидрируется на металлическом участке до изопарафина. Важнейшими элементарными стадиями являются дегидрирование углеводородов и гидрирование.

На кислотной функции, осуществляемой носителем, происходит изомеризация олефинов, их циклизация и гидрокрекинг, а также превращение пятичленных циклоолефинов в шестичленные. Все эти реакции протекают по карбокатионному механизму. Таким образом олефины и циклоолефины являются важнейшими промежуточными продуктами реакции.

Элементарные стадии многих реакций определяют собой катализаторы риформинга бифункциональной природой. Содержащийся один металл (платина) или же несколько металлов (к примеру, рений и платину), который катализируется реакциями дегидрирования и гидрирования. Промотированный галогенами оксид алюминия обладает кислотными свойствами и катализирует реакции, характерные для катализаторов кислотного типа. Таким образом, разного рода элементарные стадии реакции могут происходить на разных участках поверхности катализатора: кислотных или металлических.

1.4 Катализаторы процесса

Катализаторы риформинга имеют две функции: дегидрирующую и кислотную. Платина на окиси алюминия используется в роли катализатора.

Кислотные свойства обуславливают изомеризующую и крекирующую активность катализатора. Кислотность оказывает особо сильное воздействие при переработке сырья, содержащего большое количество парафиновых углеводородов: возникновение ароматических углеводородов происходит из-за инициирования реакций гидрокрекинга парафинов кислотными катализаторами и изомеризации пятичленных нафтен в шестичленные с их дальнейшей дегидроциклизацией и дегидрогенизацией (как следствие дегидрирующих возможностей катализатора).

Функцией дегидрирования наделена платиновая составляющая катализатора. Это приближает наступление реакции дегидрирования и гидрирования, а значит, помогает образованию ароматических углеводородов и непрерывному гидрированию и удалению промежуточных продуктов, которые содействуют образованию кокса. Платины в составе, как правило, 0,3–0,65 по весу %; при уменьшении этого значения снижается стабильность катализатора против ядов. Однако также нежелательно избыточное содержание металла: по мере роста концентрации платины реакции деметилирования и разложения нафтенных углеводородов усиливаются. Высокая стоимость платины также является существенным фактором, лимитирующим ее содержание в катализаторе.

Для протекания процессов дегидрирования требуется дегидрирующая функция катализатора, а для реакций гидрокрекинга и изомеризации нужна кислотная. Качество бифункционального катализатора риформинга зависит от совмещения этих нескольких функций.

В промышленности распространено использование таких катализаторов: палладиевые (носители те же, что и для платины); сернистый вольфрамоникелевый; платиновые (носители – окись алюминия, промотированная фтором или хлором, алюмосиликат, цеолит и др.); алюмокобальтмолибденовый (молибдат кобальта на носителе – окиси алюминия, стабилизированной кремнеземом); окисный алюмо-

молибденовый (~10% окиси молибдена на окиси алюминия); алюмо – хромовый (68% окиси алюминия и 32% окиси хрома). Чаще всего используются алюмоплатиновые. В катализаторы, содержащие платину и палладий, в последнее время стали добавлять редкоземельные элементы. Цеолитсодержащие тоже используются, но реже.

1.4.1 Биметаллические катализаторы

Биметаллические катализаторы - сплавы рения и платины, а также платины и иридия содержащие до 0,4 % массы платины.

Биметаллический сплав с платиной из рения и иридия используются для предотвращения укрупнения частиц из платины при непрерывном пользовании. Эти катализаторы получают за счет нанесения благородных металлов, обладающих каталитической активностью, на носитель с высокоразвитой поверхностью, они имеют повышенную термостойкость и высокую активность, связанную с распадом молекулярного водорода и перемещением атомарного водорода (переносу частиц). Из биметаллических катализаторов платино-иридиевый превосходит по стабильности и активности в реакциях дегидроциклизации парафинов не только монометаллический, но и платино-рениевый катализатор.

В удаленных местах от металлических биметаллических центров катализатора откладывается кокс, он способствует сохранению активности при высокой его закоксованности (до 20% масс. кокса на катализаторе).

Применение таких катализаторов допустило снизить давление на установке (от 3,5 до 2-1,5 МПа), а также повысить выход топлива с октановым числом по исследовательскому методу до 95 пунктов примерно на 6%.

1.4.2 Триметаллические катализаторы

Развитие каталитического риформинга призывает к новым требованиям также и для катализаторов, поэтому для повышения качества работы катализаторов к катализатору начали добавлять третий металл. В настоящее время триметаллический катализатор повышает к себе интерес.

Актуальные направления развития технологии каталитического риформинга бензина заключаются в увеличении продолжительности межрегенерационного цикла.

В источниках можно найти работы по синтезу, исследованию физико-химических характеристик и использованию Pt–Re–Sn-, Pt–Ir–Sn-, Pt–Re–Ge- и других систем. Триметаллические катализаторы характеризуются большей селективностью и устойчивостью к образованию кокса, чем биметаллические.

Потенциальными добавками в катализатор риформинга к паре Pt–Re также являются элементы группы IVA (Ti, Zr) и IVB (Ge, Sn и Pb) периодической таблицы элементов. Оксиды этих элементов довольно устойчивы и частично восстанавливаются до металлического состояния при активации в условиях процесса риформинга бензина. Следовательно, только часть добавленных промоторов может взаимодействовать с Pt. Остальные остаются в окисленном виде на носителе, и их эффект заключается в изменении кислотности носителя.

Платинооловянные катализаторы риформинга известны с 1960-х гг. К настоящему времени выполнен большой объем исследований по влиянию олова на свойства платиносодержащих катализаторов. По сравнению с монометаллическими катализаторами олово увеличивает селективность и стабильность катализатора. Более того, олово препятствует агрегации частиц платины при выжиге кокса. Добавки 0,3 масс. % олова уменьшают общее число кислотных центров в алюмоплатиновом катализаторе (по данным температурно-программируемой десорбции NH₃),

при этом частично блокируются сильные кислотные центры, на которых протекают реакции гидрокрекинга и гидрогенолиза, тогда как центры средней силы, ответственные за изомеризацию и циклизацию, остаются.

1.4.3 Активность и селективность катализатора

Катализаторы риформинга должны быть:

- высоко активны в реакциях ароматизации;
 - достаточная активность в реакциях изомеризации парафинов;
 - слабая или низкая активность в реакциях гидрокрекинга;
 - высокая селективность (индикатором может быть выход риформата при заданном октановом числе или заданном выходе ароматических углеводородов);
 - высокая гидрирующая активность продуктов уплотнения;
- термоустойчивость и возможность регенерировать активность путем регенерации непосредственно в реакторах;
- стойкость к соединениям азота и серы, влаги, кислорода, солей тяжелых металлов и других примесей;
 - стабильность (способность поддерживать начальную активность в течение длительного времени работы);
 - бюджетные.

Селективность катализатора - способность ускорять целевые реакции, обеспечивая наибольший выход жидких продуктов и водорода, то есть реакции ароматизации должны протекать на максимальной глубине, а каталитическая активность в гидрокрекинге и гидрогенолиза должна быть минимальной.

1.5 Влияние основных параметров на процесс риформинга

Температура на входе в реактор, давление, объемная скорость подачи сырья, кратность циркуляции водородосодержащего газа и качество сырья

- основные технологические параметры процесса риформинга. В зависимости от фракционного состава сырья и заданного режима, при проектировании установки большинство параметров выбирается:

а) Температура важный показатель процесса.

Процесс каталитического риформинга, как правило, проводят при температурах 450 – 550°C. По мере отработки катализатора происходит повышение температуры.

Температура - основной регулируемый параметр процесса. Ее следует поддерживать как можно ниже, чтобы обеспечить получение катализата заданного качества (с заданным октановым числом или заданной массовой долей фракции ароматических углеводородов).

Возрастание температуры процесса приводит к возрастанию скорости всех реакций превращения углеводородов, которые происходят во время процесса.

Увеличение скорости реакций ароматизации нафтеновых и парафиновых углеводородов приводит к увеличению концентрации ароматических углеводородов в жидком продукте - катализате - и, следовательно, к увеличению октанового числа жидкого продукта.

Однако, повышение температуры приводит к ускорению побочных реакций, которые способствуют коксованию катализатора и его дезактивации. Соответственно, время регенерации катализатора сокращается.

б) Давление

Процесс каталитического риформинга обычно проводят при давлении от 1,5 до 4 МПа. Падение давления приводит к увеличению селективности процесса риформинга и к усилению коксообразования. С уменьшением давления интенсивность реакций ароматизации увеличивается, а скорость гидрокрекинга углеводородов уменьшается. В результате выход жидкого продукта и водорода увеличивается, а выход легких углеводородов C1-C4. уменьшается.

По мере снижения давления подача циркуляционных компрессоров уменьшается и снижается кратность циркуляции водородосодержащего газа. Также снижение давления приводит к увеличению скорости дезактивации катализатора и сокращению периода регенерации.

Увеличение давления снижает содержание непредельных углеводородов в жидких продуктах реакции, газообразование возрастает, и, следовательно, выход катализата уменьшается.

Для управления процессом в редких случаях может использоваться изменение давления, к примеру, при переходе от переработки широкой фракции (85-180°C) к переработке с более узкими фракциями (105-140 °C).

в) Объемная скорость подачи сырья

Объемная скорость подачи сырья характеризует загрузку системы сырьем. Увеличение объемной скорости подачи сырья приводит к увеличению выхода жидкого продукта при одновременном снижении выхода ароматических углеводородов, что снижает октановое число катализата. При низких объемных скоростях можно наблюдать неравномерное распределения парогазовой смеси через слой катализатора и связанное с этим увеличение образования кокса. Поэтому не рекомендуется работать при объемной скорости подачи сырья менее $0,75 \text{ час}^{-1}$. Объемная скорость подачи сырья в реактор каталитического риформинга в пределах от $1,0$ до $3,0 \text{ ч}^{-1}$. В присутствии алюмоплатиновых катализаторов она обычно составляет $1,5 - 1,8 \text{ ч}^{-1}$.

г) Кратность циркуляции водородосодержащего газа

Этот показатель практически не влияет на протекание реакций конверсии углеводородов при каталитическом риформинге.

В то же время изменение соотношения водород: сырье существенно влияет на стабильность работы катализатора риформинга. Уменьшение кратности циркуляции увеличивает скорость дезактивации катализатора

из-за накопления кокса. Дальнейшее снижение этого соотношения приводит к резкому снижению активности катализатора.

В зависимости от качества исходного сырья, активности катализатора, заданной производительности и необходимой глубины превращения сырья, практическая кратность циркуляции устанавливается в пределах от 1200 до 1800 нм³ на 1 м³ сырья в час с содержанием водорода в водородсодержащем газе не менее 65% объемных.

д) Качество сырья

Фракционный состав сырья играет очень большую роль в процессе. Пределы выкипания сырья влияют как на показатель процесса (октановое число и выход риформата), так и на скорость накопления кокса на катализаторе.

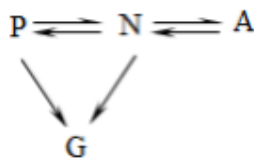
Переработка фракции с температурой начала кипения ниже 85°С и фракции с температурой кипения выше 180°С нецелесообразна, поскольку в первом случае газообразование увеличивается, а во втором - приводит к коксованию катализатора. Поэтому целесообразно подвергать риформингу фракции бензина, выкипающие в пределах 85-180°С. В сырье должно быть минимальное содержание серы (не более 1 ppm). Полиметаллические катализаторы чувствительны особенно к сере. Содержание азота (до 0,5 ppm) и влаги (15-25 ppm) также ограничены.

1.6 Модели риформинга

1.6.1 Кинетические модели

Известные математические модели процесса каталитического риформинга основаны на уравнениях, описывающих кинетику химической конверсии углеводородов в реакторном блоке риформинга и основаны на математической модели Смита. В 1959 г. Смит предложил первый вариант агрегативной кинетической модели риформинга, групповую модель. Риформируемое сырье рассматривается как система из трех групп

углеводородов, для которых эмпирические кинетические константы принимаются в реакциях превращения, описываемых кинетической схемой.



Каждая группа рассматривается как некий квазиуглеводород, обладающий едиными свойствами. Групповые кинетические константы являются эффективными величинами, которые входят в систему дифференциальных уравнений, описывающих взаимные превращения квазиуглеводородов.

Константы модели Смита определяются чисто эмпирически. Однако из-за их небольшого количества объем экспериментальной работы для каждого катализатора относительно невелик. Если температурная зависимость констант не соответствует закону Аррениуса и решение системы уравнений выполняется только на машине, то она может быть задана в таблице как входная для компьютера.

Модель Смита использовалась для жесткого контроля и приблизительных расчетов относительно маленьких установок, которые долгое время работали на одном катализаторе, с ассортиментом продуктов и постоянным составом сырья. В результате увеличения мощности установок промышленности и общей связи с трудностями в поддержании стабильного состава сырья, с повышением требований к точности проектирования из-за резкого увеличения стоимости установок, в дальнейшем будут разработаны новые, более точные модели кинетического риформинга.

Основные химические и кинетические законы каталитического риформинга углеводородов - модель не предусматривает:

1) парафиновые углеводороды не только циклизуются, но и превращаются друг в друга путем изомеризации и деструкцией с переходом в более низкомолекулярные углеводороды;

2) скорости ароматизации, как и в других реакций, отличаются в случае углеводородов различной молекулярной массы, в частности парафинов, из которых пятичленные не могут непосредственно ароматизироваться, а гексан ароматизируется с очень малыми скоростями;

3) скорость и, самое главное, состав продуктов крекинга также зависят от структуры и молекулярной массы углеводородов. Следовательно, модель Смита не является инвариантной по отношению состава сырья даже при одинаковом его групповом составе и не предоставляет информацию о составе газообразных продуктов реакции.

Во многих опубликованных кинетических моделях на основе метода слияния (модель углеводородного класса с одним соединением, который имеет средние свойства данного класса) представлен современный уровень кинетического моделирования для реализации каталитического процесса переработки нефти, в котором от свойств и подачи катализатора зависит константа скорости. Полный спектр углеводородов, находящихся в составе лигроина (тяжелый бензин), подробный состав продуктов реакции переработки высококипящих нефтяных фракций, состав алкилциклопентанов, состав парафинов и n-парафинов не могут быть предсказаны некоторыми из моделей. Указанный уровень трудности может быть равен как нескольким элементам, так и полной кинетической модели.

Все сложные модели, защищенные от недостатков соединений (кинетическая модель 1-го события), которые базируются на фундаментальных подходах, должны проходить испытания в совершенно других условиях. Это позволит получить наиболее верную оценку, близкую к реальным событиям. В состав моделей соединений входит

минимальное число кинетических критериев, нуждающихся в небольшом числе информации для оценки. Одновременно с этим, сложность структуры данных моделей с широким числом параметров, обуславливает проведение дополнительных экспериментов.

Таким образом, применение кинетической модели является серьезной проблемой для выбора: сосредоточенная кинетическая модель или фундаментальный подход. Но, несмотря на это, существует перечень критериев, которые оказывают помощь для разрешения данного вопроса. В большинстве случаев следует предопределять воздействие на количество и качество продукта, контролировать изменение процессов и представлять возможную установку.

Когда модель, располагающая несколькими элементами, подобрана, то для достижения требуемой ситуации обычного прогноза будет недостаточно. Но, при выборе подробной модели, есть вероятность того, что она может стать слишком сложной для осуществления. Это связано не с видом модели, удобной для работы с современными компьютерами и алгоритмами, а со стоимостью и количеством данных, необходимых для определения критериев установки.

Таким образом, можно прийти к выводу: для правильного прогнозирования поведения системы каталитического процесса переработки нефти необходимо применять промежуточный подход. Это заключение связано с его относительной простотой и достаточной подробностью.

Промежуточным подходом называется способ, при котором количество элементов равно такому числу, что состав продукта можно предсказать с учетом всех необходимых компонентов. Кинетические модели применяются для необходимого описания статики и динамики реакции сложных процессов. Довольно часто, среди процессов каталитического процесса переработки нефти применяются устройства этого вида.

Общее время простоев установок со стационарным слоем катализатора (ремонт оборудования и цикл регенерации) – 20-35 дней в году. Средний срок постоянной работы без регенерации равен - одному году и более. Во всех реакторах одновременно осуществляется окислительная регенерация катализатора.

Материал установок проходит через глубокий процесс химического превращения S, N (других соединений) под воздействием водорода. А в процессе переработки вторичных процессов бензина – этап присоединения водорода к органическому веществу непредельных углеводородов.

1.6.2 Модели дезактивации катализатора

Дезактивация Pt-катализаторов в течении периода межрегенерации снижает выход целевых продуктов, также требует часто или непрерывно регенерацию катализаторов и уменьшает срок его работы.

Современные технологии подготовки сырья сводят к минимуму влияние яда, а развитие технологии катализаторов и их регенерация, практически исключают отрицательное термическое воздействие на носитель. Поэтому, главной причиной дезактивации в настоящее время является возникновение побочных реакций, ведущие к блокаде активных центров отложением кокса. Коксоотложение происходит как в металлических, так и в кислотных центрах. Коксовые отложения представляют собой смеси конденсированных обедненных водородом продуктов на различных стадиях «зрелости», от смол и асфальтенов до карбоидов и, в крайних случаях, до графитоподобных отложений.

Кокс, образованный механизмом карбидного цикла, более точно называется отложением углерода. Довольно однороден их состав. Разница в свойствах заключается главным образом в кристаллизации, форме и размере их агрегатов. Таким образом, кинетика дезактивация и механизм

катализаторов напрямую связаны с составом сырья, а также с состоянием активных компонентов и условиями проведения процесса.

В большинстве работ полуэмпирические зависимости используются для описания промышленных данных, которые представляют их с точки зрения относительной активности и выражаются как функции концентрации каталитического яда или концентрации кокса (C):

Чтобы учесть бифункциональность катализатора, предлагается описание его дезактивации, с помощью степенной зависимости, в которой значение константы дезактивации (m) различно для «металлических» и кислотных центров:

$$dA/dt = - K_0 \exp(-E/RT) A^m, \quad (1.1)$$

Уравнения этого типа, записанные для каждого типа дезактивации (закоксовывание, старение, отравление), отличаются значениями константы дезактивации m . Данная модель легла в основу работ Левинтера и Рабиновича, а также Жорова и других исследователей. Работа, в которой скорости реакций представлены как функции текущей концентрации кокса: $r_j = r_j^0 \Phi(C)$, оказала большое влияние на описание процесса. В работах Иванчиной и Кравцова чаще используют экспоненциальную зависимость. К примеру, создавая формализованную схему на Pt-Sn/Al₂O₃ катализаторе конверсии углеводородов, кокс был добавлен в схему конверсии как один из компонентов. Было установлено, что активность катализатора зависит от содержания кокса и кратности циркуляции катализатора согласно уравнению:

$$a_j = A_0 \cdot e^{-\alpha_j C k}, \quad (1.2)$$

где A_0 – линейная составляющая, определяющая число активных центров; α – коэффициент отравления.

Ученые во главе с профессором Мазиерри изучали дезактивацию осаждением кокса и спеканием и регенерацию функции металла катализаторов PtRe-Sn / Al₂O₃-Cl и Pt-Re-Ge / Al₂O₃-Cl. Они обнаружили, что катализаторы Pt-Re-Sn более стабильны, чем Pt-Re-Ge. Это было

связано с меньшим количеством кокса, осажденного на поверхности Pt-Re-Sn. Они также сравнивали дезактивацию ряда би- и мультиметаллических катализаторов риформинга, включая Pt-Re, Pt-Ir, Pt-Sn, Pt-Ge и Pt-Ir-Ge. Добавление катализаторов Ge (или Sn) к Pt, Ir или Pt-Ir разбавляет активную поверхность металла. Этот геометрический эффект улучшает селективность катализатора и повышает его устойчивость к дезактивации. Образование объемных сплавов Pt-Ge, Pt-Sn и Pt-IrGe способствует общей скорости дезактивации этих систем. Оба Pt-Ir и Pt-Re обладают высокой устойчивостью к дезактивации. Металлические Ir и Re обеспечивали места для гидрирования/гидрогенолиза фрагментов кокса и, следовательно, уменьшали скорость дезактивации этих катализаторов.

1.7 Конфигурации реактора и классификация процессов

Разнообразие химических и физических явлений, лежащих в основе разнохарактерных технологических процессов, предъявляет самые разные требования к химическим реакторам. Впрочем, все без исключения реакторы обязаны удовлетворять следующие основные требования:

- 1) обеспечивать большую производительность;
- 2) при максимальной селективности процесса давать более высокую степень превращения;
- 3) иметь малые энергетические затраты на перемешивание реагентов и транспортировку;
- 4) быть достаточно простыми в устройстве и бюджетными, следовательно, при изготовлении реакторов необходимо использовать черные металлы, недорогие изделия силикатной промышленности, недефицитные пластмассы и тому подобные;
- 5) использовать теплоту экзотермических реакций и теплоту, подводимую извне, для осуществления эндотермических процессов;

б) быть надежны в работе, по возможности обеспечивать автоматическое регулирование процесса и быть наиболее полно механизированными.

Блок риформинга является одним из основных блоков нефтепереработки, который широко используется для преобразования парафинов и нафтенов в ароматические соединения. Из-за промышленной важности этого процесса исследователи широко изучили проектный аспект, чтобы найти подходящие конфигурации, чтобы улучшить производство желаемых продуктов.

Реактор является наиболее важным устройством среди других аппаратов процесса каталитического риформинга. Экономичность процесса и качество получаемых продуктов зависят от того, насколько хорошо реактор работает.

Реакторы установок каталитического риформинга относят к аппаратам проточного типа (непрерывного действия). Основой классификации реакторов процесса каталитического риформинга может быть проходящих через реактор термодинамические и физические характеристики потоков, направление их движения, способы регенерации катализатора и размещения, материальное исполнение корпуса и внутренних деталей и конструктивные особенности.

Реакторы разделяются на два типа: по способу распределения и направлению движения сырья - с аксиальным и радиальным движением сырья. В реакторе с радиальным вводом сырья обеспечиваются меньшие потери напора и соответственно меньшее рабочее давление в аппарате, поэтому уменьшаются затраты энергии на подачу сырья. Реакторы с радиальным движением используются в случаях, когда среда находится только либо в жидком, либо в парогазовом состоянии.

Многочисленные исследовательские усилия были направлены на повышение эффективности и условий эксплуатации этих конфигураций реактора. Эти усилия в основном включают использование мембраны для

удаления водорода из реакционной среды, что предполагает наличие реакторов с более низким перепадом давления и использование комбинированного реактора для снижения капитальных и эксплуатационных затрат.

1.7.1 Реактор с аксиальным вводом сырья

Внутреннее устройство реакторов, применяемых в настоящее время, не сложное. На рисунке 1 приведена конструкция реактор с аксиальным вводом сырья и футеровкой широко зарекомендовавшая себя на практике. Каждый реактор включает в себя такие общие конструктивные детали, как корпус, днище, штуцеры для ввода и вывода сырья и продуктов реакции, распределитель, опорную решетку, катализатор п фарфоровые шарики, многозонную термопару, футеровочный слой и опорное кольцо.

Сырье подается в реактор через верхний штуцер и распределитель, который обеспечивает равномерное распределение парогазового потока в верхнем пустотелом пространстве реактора. Затем поток проходит через слой фарфоровых шариков, которые предназначены для более равномерного распределения потока по слою катализатора. Диаметр шариков может меняться, но обычно применяются шарики диаметром 16—20мм. Пройдя слой катализатора, продукты реакции удаляются по центральной трубе через верхний боковой штуцер.

Опорная решетка служит для удержания фарфоровых шариков и катализатора. Обычно для лучшего распределения сырья и продуктов реакции на опорной решетке размещают три слоя фарфоровых шариков диаметром 20; 13 и 6 мм и далее укладывается катализатор.

Нижнее днище реактора имеет люк, диаметром 500 мм, который используется при ревизии и ремонтах, два люка диаметром 175 мм для выгрузки катализатора, штуцер для отбора проб.

Для замера и контроля температуры в слое катализатора в реакторе устанавливают три многозонных термопары, которые вводятся в слой

через штуцер диаметром 50 мм. Опорное кольцо предназначено для крепления аппарата на строительных инструкциях. Корпус реакторов подобного типа изготовлен из стали марок 22К. или 09Г2ДТ и покрыт изнутри жароупорной торкрет-бетонной футеровкой, толщина которой обычно составляет 150 мм.

Штуцеры изготавливают из низколегированных хромомолибденовых сталей 12ХМ, 12МХ, устойчивых при повышенных температурах в среде водородсодержащих газов. Внутренние детали реакторов выполнены из нержавеющей стали ЭИ496 или из стали Х5М.

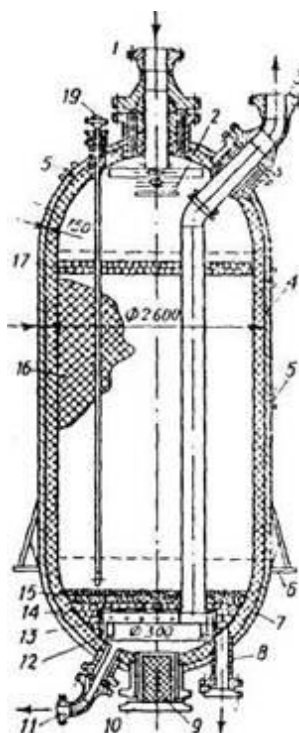


Рисунок 1 - Футерованный реактор с аксиальным вводом сырья

1 — штуцер вводя сырья; 2 — распределитель; 3—штуцер вывода продуктов реакции; 4—корпус; 5 — наружная термопара; 6— опорное кольцо; 7— днище; 8 — люк для выгрузки катализатора; 9 — легкий шамот; 10— люк; 11 — штуцер для эжекции газов; 12— опорная решетка; 13. 14. 15— фарфоровые шарики; 16— катализатор; 17 — футеровка; 19— штуцер для термопары.

1.7.2 Реактор с радиальным вводом сырья

Реакторы данного типа отличаются от реакторов с аксиальным вводом сырья тем, что газосырьевая смесь проходит через слой

катализатора в радиальном направлении. Как было указано выше, такое конструктивное решение позволяет значительно снизить гидравлическое сопротивление, уменьшить вероятность засорения катализатора продуктами коррозии. Реактор, показанный на рисунке 2, применяется на установках типа ЛЧ-35-11/600 и включает в себя общие для этого типа аппаратов детали: корпус, днище, штуцеры для ввода и вывода сырья и продуктов реакции, штуцеры для термопары, выгрузки катализатора и отбора проб, футеровку и опорное кольцо. Внутреннее устройство отличается от реакторов с аксиальным вводом тем, что катализатор размещается во внутреннем перфорированном стакане, а между футеровкой и стаканом существует кольцевой зазор.

Газосырьевая смесь по кольцевому зазору проходит через слой катализатора и выводится через центральную перфорированную трубу. Материальное исполнение, типы катализаторов, футеровки и шарика реакторов подобного типа такие же, как у реакторов с аксиальным вводом сырья.

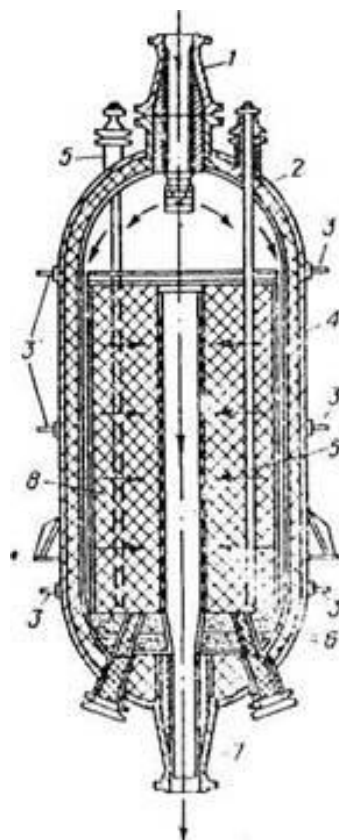


Рисунок 2 - Реактор каталитического риформинга с радиальным вводом газосырьевой смеси

1—штуцер ввода сырья;2—футеровка;3—поверхностные термопары;4—корпус; 5 - многозонная термопара;6—фарфоровые шарики; 7 —штуцер вывода продуктов реакции;8—катализатор.

1.7.3 Полурегенераторный каталитический риформинг (SRR)

Наиболее часто используемым типом блока каталитического риформинга является SRR. Этот процесс характеризуется непрерывной эксплуатацией в течение длительного времени, с уменьшением активности катализатора из-за осаждения кокса. Уменьшая активность катализатора, выход ароматических соединений и чистота побочного продукта водорода снижаются. Чтобы поддерживать конверсию почти постоянной, температура реактора повышается по мере снижения активности катализатора. Когда реакторы достигают уровней конца цикла, реформатор закрывается для регенерации катализатора на месте. Различные критерии используются для определения уровней конца цикла,

таких как предел температуры металлургической промышленности реактора, прогнозируемое увеличение средней температуры на входе (WAIT), заданное количество снижения уровня C5 +, определенное количество снижения водорода и экономика переработки и риформинга. Чтобы максимизировать длительность (цикл) между регенерациями, эти ранние установки работали при высоких давлениях, потому что высокое давление в реакторе минимизировало дезактивацию путем коксования. Выключение этого устройства происходит примерно раз в 6-24 месяца. Исследованное октановое число (RON), которое может быть достигнуто в этом процессе, обычно находится в диапазоне 85-100, в зависимости от оптимизации между качеством сырья, качествами бензина и требуемыми количествами, а также условиями эксплуатации, необходимыми для достижения определенного запланированного цикла длина. Катализатор Pt-Re обычно используется в единицах SRR, поскольку он выдерживает высокие уровни кокса и легко регенерирует. Эти катализаторы обеспечивают более низкое давление и более высокую степень тяжести. Полурегенеративные риформаторы обычно строятся с тремя четырьмя слоями катализатора последовательно. Четвертый реактор можно было бы добавить, чтобы увеличить либо серьезность, либо пропускную способность при сохранении одной и той же длины цикла.

Технологические параметры установок риформинга работают при полурегенеративном варианте: давление – от 1,3 до 3,0 МПа, температура – от 480 до 530°C, октановое число колеблется от 94 до 100, выход риформата от 80 до 88 % масс. Межрегенерационный цикл работы катализатора – от 1 года до 3 лет.

1.7.4 Циклический каталитический риформинг

Циклический каталитический риформинг применяется в США, характеризуется более жёсткими условиями проведения процесса: давление – от 0,9 до 2,1 МПа, температура – от 505 до 550°C, небольшими

межрегенеративными циклами (от 40 до 5 суток). Октановое число риформата – от 95 до 103. Катализатор до полной отработки может выдерживать до 600 регенераций. К циклическому варианту относятся:

- процесс пауэрформинг используется для получения бензинов с октановыми числами 85 - 105, компонента авиационного бензина, бензола или других индивидуальных ароматических углеводородов;

- ультраформинг используется для получения высокооктанового компонента бензина и индивидуальных ароматических углеводородов из низкооктановых бензиновых фракций прямой перегонки нефти, коксования, каталитического и термического крекинга, гидрокрекинга.

В установке циклического каталитического риформинга существует дополнительный запасной или качающийся реактор, который, как и другие реакторы, может быть индивидуально изолирован. Каждый реактор может подвергаться регенерации на месте, в то время как другие реакторы работают. Только один реактор за один раз должен быть выведен из эксплуатации для регенерации, в это время процесс риформинга продолжается. В этом процессе можно применить низкое рабочее давление, широкую подачу кипения и низкое отношение водорода к корму, что способствует высокой скорости дезактивации катализатора. Исследовательское октановое число в этом процессе находится в диапазоне 100-104.

Низкое рабочее давление и меньшее изменение общей активности катализатора, конверсия и чистота водорода во времени относительно полурегенеративного процесса считаются важнейшим преимуществом циклического процесса.

Недостатком этого процесса является то, что все реакторы часто чередуются между восстановительной атмосферой во время нормальной работы и окислительной атмосферой во время регенерации. Эта политика переключения требует сложной схемы процесса с высокими мерами предосторожности и требует, чтобы все реакторы имели одинаковый

максимальный размер, чтобы сделать переключатели между ними возможными. Блоки циклического каталитического риформинга не очень распространены и редко используются для процесса риформинга нефти.

1.7.5 Непрерывный риформинг с регенерацией катализатора (CCR)

Последний тип технологии риформинга - это процесс с непрерывной регенерацией катализатора. Такая технология является наиболее прогрессивной, так как позволяет работать в лучших термодинамических условиях (температура – до 550,0°C, давление – от 0,35 до 0,9 МПа) без остановки на регенерацию (межремонтный пробег достигает трех лет и более) и достигать максимального октанового числа риформата (102-104 пункта).

Самым современным типом каталитических риформаторов - это непрерывная регенерация катализатора. Этот процесс представляет собой ступенчатое изменение технологии риформинга по сравнению с полурегенеративными и циклическими процессами. В этом устройстве катализатор непрерывно регенерируется в специальном регенераторе и добавляется в работающие реакторы. Преимущества этого процесса против традиционных методов:

- производство высокооктанового риформата, даже с низким качеством сырья;
- использование катализатора с меньшей стабильностью, но с более высокой селективностью и выходом;
- снижение необходимого коэффициента рециркуляции и снижение рабочего давления с высоким выходом водорода.

Этот процесс можно разработать разными способами. Реакторы могут быть отделены друг от друга или уложены друг над другом. Катализатор движется со дна одного реактора к верхней части

следующего реактора. Регенерированный катализатор добавляют в первый реактор, а отработанный катализатор извлекают из последнего реактора и возвращают обратно в регенератор. Расчетное октановое число находится в диапазоне от 95 до 108. Катализатор, используемый в процессе непрерывной регенерации, в основном относится к типу оксиду алюминия - платина/олово, так как добавление олова повышает селективность ароматических веществ, стабильность, а также способность к регенерации Pt/Al₂O₃. Следует отметить, катализатор постоянно регенерируется и, поэтому селективность ароматических соединений катализатора важнее, чем его устойчивость к дезактивации. Для этого типа процесса риформинга был предложен только трубчатый ректор с осевым и радиальным потоком.

Технологическая схема установки риформинга с непрерывной регенерацией катализатора представлена на рисунке 3.

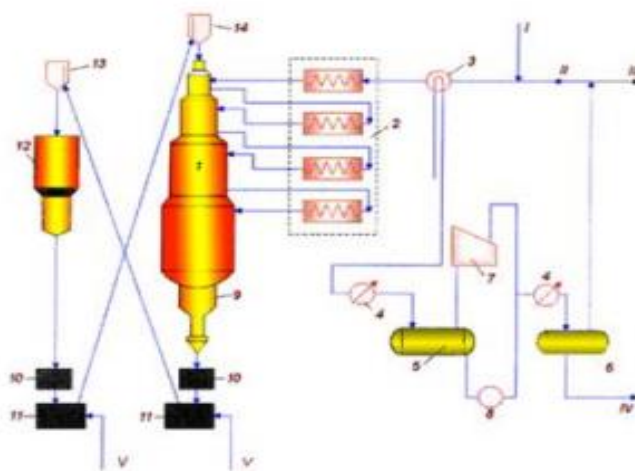


Рисунок 3 - Технологическая схема установки риформинга с непрерывной регенерацией катализатора:

1 - реакторная колонна; 2 - блок печей; 3. - т-к; 5 - сепаратор низкого давления; 6 - сепаратор высокого давления; 7 - компрессор; 8 - насос; 9 - разгрузочное устройство; 10 - затворный бункер; 11 - питатель; 12 - регенератор; 13 - бункер закоксованного катализатора; 14 - бункер отгенерированного катализатора. I - водородсодержащий газ; II - циркулирующий водородсодержащий газ; III - избыточный ВСГ; IV - риформат на стабилизацию; V - транспортный газ.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Целью данной ВКР является разработка технологии каталитического риформинга.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

При ведении собственного производства необходим систематический анализ конкурирующих разработок во избежание потери занимаемой ниши рынка. Периодический анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет оценить эффективность научной разработки по сравнению с конкурирующими предприятиями. Из

наиболее влияющих предприятий-конкурентов в области производства риформата: ПАО «Газпром нефть» и ОАО «Сургутнефтегаз». В таблице 4.1 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические решения в области производства риформата.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Выход продукта	0,3	4	5	3	1,2	1,5	0,9
Качество продукта	0,3	5	4	3	1,5	1,2	0,9
Энергоемкость процессов	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Конкурентоспособность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Финансирование научной разработки	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
Итого	1	27	25	22	4,5	3,3	2,4

Б_ф – продукт проведенной исследовательской работы;

Б_{к1} – ПАО «Газпром нефть»;

Б_{к2} – ОАО «Сургутнефтегаз».

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Высокое качество продукции, соответствующее мировым стандартам.	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
С2. Минимальное количество используемого оборудования	Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.
С3. Большое количество исходного сырья.	Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.
С4. Экологичность технологии.	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
Возможности	Угрозы
В1. Внедрение новых узлов оборудования и совершенствования технологических процессов.	У1. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У2. Отсутствие поддержки и финансирования со стороны государства.
В3. Использование риформата для получения высокооктанового топлива	
В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3–4.6.

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

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	-	-	-	-
	B2	+	0	+	-
	B3	+	+	0	+
	B4	+	+	-	+

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

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	+	-	+	+
	B2	+	0	-	-
	B3	-	-	-	-
	B4	0	+	+	-

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

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	0	-	+
	У2	-	-	-	0

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

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	-	-
	У2	-	+	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

Внутренняя среда	Внешняя среда	
1	2	3
	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Систематическое повышение уровня квалификации. 2. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области. 3. Наличие постоянных поставщиков (Западная Сибирь и Сахалин). 4. Высокое качество продукции, соответствующее мировым стандартам. 5. Внедрение новых узлов оборудования и совершенствования технологических процессов. 	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Низкий уровень заработной платы для молодых специалистов. 2. Устаревшее оборудование. 3. Высокая степень износа оборудования. 4. Повышение цен у поставщиков. 5. Высокий уровень ценна выпускаемую продукцию.
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Спрос на выпуск нефтепродуктов в России, некоторых странах АТР достаточно высок и имеет устойчивую тенденцию к увеличению. 2. Малое количество посредников на территории Дальнего Востока. 3. Небольшое количество конкурентов на территории Дальнего Востока. 4. Высокое качество поставляемых ресурсов. 	<p>Сильные стороны и возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Эффективное использование ресурсов производства. 2. Оптимизация количества посредников за счет постоянных и проверенных поставщиков (пользоваться услугами постоянных поставщиков). 3. Поддержание увеличения спроса и выхода на новые рынки сбыта товара за счет высокого качества продукции. 	<p>Слабые стороны и возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Создание эффективной системы мотивации и стимулирования для сотрудников. 2. Нарботка и укрепление конкурентных преимуществ продукта. 3. Модернизация оборудования. 4. Внедрение технологии 5. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений
<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение уровня налогов. 	<p>Сильные стороны и угрозы:</p>	<p>Слабые стороны и угрозы:</p>

2.Повышение требований к качеству продукции. 3.Несвоевременные поставки сырья и оборудования	1.Применение оптимальной налоговой политики. 2.Внедрение менеджмента качества. 3.Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.	1.Повышение цен на выпускаемую продукцию. 2.Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.
---	---	---

В результате SWOT-анализа показано, что преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

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

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

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

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

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

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

где – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

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

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

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

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

где – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (3):

$$T_{кі.кал} = T_{рі} \cdot k_{кал}, \quad (4.3)$$

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

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

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$(4.4)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году (2022 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожид}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	3,8	-	3,8	6
2. Календарное планирование выполнения работ	1	3	3	4	3,4	3,4	3,4	5
3. Обзор научной литературы	1	6	-	10	5	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	3,8	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	1,8	2,3	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	2,8	2,8	3
7. Проведение эксперимента	-	10	-	20	7,0	12	9,8	15
8. Обработка полученных данных	2	10	5	15	2,0	5,0	3,5	5
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	3,8	3,8	3,8	6
10. Составление пояснительной записки		8		10	7,2	8,8	8	12
Итого:	7	59	15	84	38,8	49	45	74

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

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

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	6	▨													
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	5	▨ ■													
3	Обзор научной литературы	Исп2	11		■												
4	Выбор методов исследования	Исп2	6			■											
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			▨ ■											
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	3				■										
7	Проведение эксперимента	Исп2	15					■	■	■							
8	Обработка полученных данных	Исп2	5								■						
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	6										▨ ■				
10	Составление пояснительной записки	Исп2	12												■	■	■

Примечание:



 – Исп. 1 (руководитель),  – Исп. 2 (инженер)

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

4.3 Бюджет научно-технического исследования

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

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

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического

процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи}, \quad (4.5)$$

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

$N_{расхи}$ – 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.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

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

Материальные затраты на требующиеся аппараты и приспособления представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Материальные затраты

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Образцы топлива	л	4	46	184
ПГС водород 40%	баллон	1	2430	2430
Итого:				2614

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

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

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования,	Время использования, мес.	H_A , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Реактор	4	15	0,16	7	600000	560	
2	Ректификационная колонна	6	20	0,1	5	30000000	1250	
3	Сепаратор	3	20	0,16	5	300000	200	
4	Теплообменник	6	10	0,1	10	60000	50	
5	Печь	3	15	0,16	7	900000	840	
6	Насос	6	10	0,1	10	120000	100	
7	Рефлюксная ёмкость	2	20	0,16	5	240000	160	
8	Холодильник	5	20	0,16	5	250000	166,67	
Итого:							3326,67	

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Основная заработная плата одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_0 – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_{.м} = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_{.м} = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

где – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; – премиальный коэффициент, равен 0,3; – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, \text{руб}$	k_{np}	k_{∂}	k_p	$Z_{.м}, \text{руб}$	$Z_{\partialн}, \text{руб}$	$T_p, \text{раб.дн.}$	$Z_{осн}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	38,8	83315,2
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	49	85411,9
Итого:								168727,1

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{осн} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 83315,2 = 12497,3 \text{ руб.}, \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{осн}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 85411,9 = 12811,8 \text{ руб.}, \quad (4.13)$$

где – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (83315,2 + 12497,3) = 28743,75 \text{ руб.}, \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (85411,9 + 12811,8) = 29467,11 \text{ руб.}, \quad (4.15)$$

где – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.3.5 Накладные расходы

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

Таблица 4. 15 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная	Отчисления на	Итого без накладных расходов

			заработная плата	социальные нужды	
3326,67	2614	168727,1	25309,1	58210,9	258187,8

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей} \div 5) \cdot k_{\text{пр}}, \quad (4.16)$$

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

$$Z_{\text{накл}} = 258187,8 \cdot 0,2 = 51637,6$$

4.3.6 Определение бюджетной стоимости НИР

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	2614	3600	4219	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	3326,67	4455,1	4945,3	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	168727,1	168727,1	168727,1	Пункт 4.2.3.3

Продолжение таблицы 4.16

4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	25309,1	25309,1	25309,1	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	58210,9	58210,9	58210,9	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	51637,6	52060,4	52282,3	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		309825,4	312362,6	313693,7	Сумма ст. 1- 6

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения

интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

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

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

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

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{309825,4}{313693,7} = 0,98;$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{312392,6}{313693,7} = 0,99;$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{313,693,7}{313693,7} = 1.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.18)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 4.17 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	5	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	4	3
4. Энергосбережение	0,20	5	5	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	4	4
ИТОГО	1	4,6	4,5	3,8

$$I_{p-ucn1} = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 4,6;$$

$$I_{p-ucn2} = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,5;$$

$$I_{p-ucn3} = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,8.$$

4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad (4.19)$$

$$I_{Финр}^p = \frac{I_m}{I_\phi} = \frac{4,6}{0,98} = 4,7$$

$$I_{Финр}^{a1} = \frac{I_m}{I_\phi} = \frac{4,5}{0,99} = 4,5$$

$$I_{Финр}^{a2} = \frac{I_m}{I_\phi} = \frac{3,8}{1} = 3,8$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (4.20)$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; $I_{исп1}$ – интегральный показатель разработки; $I_{исп2}$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{Финр}^p}{I_{Финр}^{a1}} = \frac{4,7}{4,5} = 1,04;$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{Финр}^p}{I_{Финр}^{a2}} = \frac{4,7}{3,8} = 1,24.$$

Таблица 4.18 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Проект	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,47	0,45	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,5	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,7	4,5	3,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,04	1,24

Примечание: Аналог 1 – ПАО «Газпром нефть»; Аналог 2 – ОАО «Сургутнефтегаз».

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности является очень важным аспектом любой деятельности. Для этого применяется комплекс мер, содержащий правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

В данной работе объектом исследования является промышленная установка каталитического риформинга бензинов.

Установка предназначена для получения высокооктанового компонента автомобильных бензинов и технического водорода. Водородсодержащий газ (технический водород) используется далее в качестве сырья установки производства водорода или в процессах гидроочистки топлив.

Для расчетов исследования работы, использовалась компьютерная модельная система «Контроль катализатора», созданная на кафедре химической технологии топливно-химической кибернетики Томского политехнического университета. Система основана на математической модели каталитического риформинга, которая принимает как физические, так и химические механизмы реакции конверсии углеводородной смеси, а также дезактивацию катализатора.

В разделе социальной ответственности рассмотрены вредные и опасные факторы рабочего места оператора установки риформинга. Контроль за технологическим процессом осуществляется централизованно из операторной с компьютера, на котором установлено соответствующее программное обеспечение информационной системы использованием многоканальных измерительных преобразователей.

Аппараты, такие как, реактора, колонны, теплообменники, конденсаторы-холодильники, сепараторы, емкости и фильтры находятся на открытых площадках, а также основная часть насосного и компрессорного оборудования расположены в отдельных производственных помещениях.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Производственная безопасность

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке технического состояния установки каталитического риформинга бензинов

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	+	+	+	Параметры безопасности труда устанавливаются ГОСТ 12.4.011-89.
Превышение уровня шума		+	+	ГОСТ 12.1.003–2014 Шум. Общие требования безопасности.
Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
Повышенная температура поверхностей и оборудования		+	+	Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве (утв. РАО "ЕЭС России" 21.06.2007).
Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли	+	+	+	ПРИКАЗ №155н Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте.
Сосуды, работающие под давлением	+	+	+	Работа с сосудами под давлением устанавливается ПБ 03-576-03.

На установке каталитического риформинга имеется такое технологическое оборудование как компрессоры, насосы, которые при работе создают шум. Допустимый уровень параметра шума на постоянном рабочем месте определен санитарными нормами СанПиН 2.24/2.1.8.562-93 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территориях жилой застройки» и не должен превышать предельно допустимого (80 децибел) [5].

Для уменьшения влияния шума на человека необходимо установить компрессорное и насосное оборудование в отдельных помещениях. С целью защиты органов слуха, а значит и нервной системы, в соответствии с ГОСТ 12.1.029-80 «Средства и методы защиты от шума. Классификация» [6], применять следующие средства: противошумовые наушники, вкладыши, шлемы, каски и т.д, также обеспечивать контроль уровней шума на рабочих местах не реже одного раза в год.

Опасность и вредность работы на установке обусловлена применением вредных и токсичных продуктов: топливного газа, нестабильного катализата, нестабильного бензина и т.д. На установке ведется процесс подогрева в печи за счет сгорания топливного газа. Опасность процесса заключается в выделении влаги, газа и паров вредных веществ.

Таблица 5.2 – Показатели токсичности (ГОСТ 12.1.005-88) [7]

Наименование вещества	Класс опасности в соответствии с ГОСТ	Температура самовоспламенения, °С	Концентрированный предел воспламенения, %		Характеристика токсичности (воздействие на органы человека)	ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений
			Нижний предел	Верхний предел		
Топливный газ	4	460	1,3	28,6	Вызывает паралич ЦНС	100 мг/м ³

Для работы с вредными условиями труда, связанными с агрессивными средами, загрязнениями, повышенными температурами, влажностью, рабочим установкой в соответствии с ГОСТом 12.4.034-85 [8] выдается специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты.

- Для защиты рук от воздействия вредных и агрессивных сред применяются рукавицы или голицы с кислотостойкой пропиткой;
- Для защиты головы – каски защитные типа «Труд»;
- Для защиты органов дыхания используют противогазы и респираторы;
- Для предохранения кожи открытых частей тела от производственных вредностей необходимо применять защитные мази;
- Для работы внутри технологического оборудования в обязательном порядке использовать только шланговые противогазы. Каждый противогаз за обслуживающим противогазом закреплен индивидуально.

Статическое электричество – совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности или в объеме диэлектриков или не изолированных проводниках (ГОСТ 12.1.018-93). Все части технологического оборудования, которые поводят статическое электричество, необходимо заземлить согласно ГОСТ 12.4.124-83 [8].

Средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения в соответствии с ГОСТ 12.4.124-83:

- специальную одежду антиэлектростатическую;
- средства защиты рук антиэлектростатические;
- специальную обувь антиэлектростатическую;
- предохранительные приспособления антиэлектростатические (браслеты и кольца).

5.2 Экологическая безопасность

Одной из важнейших проблем нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности является проблема охраны производственной и окружающей среды.

Нефтеперерабатывающая промышленность не является безотходным процессом. При переработке нефти так же возможны выбросы в атмосферу. Экология переработки нефти включает в себя проблемы загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы.

Для промышленных объектов и производств, сооружений, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека устанавливаются следующие ориентировочные размеры санитарно-защитных зон:

– промышленный объект четвертого класса – 100 м.

Воздействие объекта на атмосферу

Основные источники загрязнения при переработке нефти это:

- диоксид азота;
- углерод черный (сажа);
- оксид углерода;
- метан;
- бензапирен.

С целью охраны воздушного бассейна, выполняются следующие технологические мероприятия, обеспечивающие минимальные выбросы в атмосферу:

- установка трубных расширителей на факельном газопроводе с целью исключения сгорания жидких фракций углеводородов на факеле;
- перед подачей газа на факела, использовать очистку газа от токсичных веществ.

Воздействие объекта на гидросферу

Загрязненные стоки на установке образуются за счет конденсации насыщенного водяного пара, используемого для пропарки оборудования, либо при отгрузке нефти.

Для предотвращения попадания вредных веществ в водоемы за пределы производственной площадки, предусмотрено:

- обвалование площадок, где возможен разлив продукта;
- дренажные емкости для сбора возможных разливов продукта и загрязнения при этом дождевых и талых вод и последующем отведении их в систему ППД для совместного использования в технологическом процессе.

Сточные воды канализации проходят механическую очистку и доочистку на биологических очистных сооружениях завода.

Воздействие объекта на литосферу

На предприятии только в процессе глубокого обессоливания и обезвоживания нефти выделяется около 26-30 т. твердых солей и механических примесей, содержащих в своем составе до 35% смеси углеводородов и 35-60% воды.

Таким образом, нефтеперерабатывающий завод оказывает неблагоприятное воздействие на все объекты окружающей среды – атмосферный воздух, водные объекты, почву, загрязняя их отходами своего производства.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации могут быть техногенного, природного, биологического, социального или экологического характера.

Пожары, взрывы, угроза взрывов относят к чрезвычайным ситуациям техногенного характера.

Производственные здания, сооружения и установки в зависимости количества пожаровзрывоопасных свойств, находящихся в них веществ и материалов и с учетом особенностей технологических процессов,

азмещенных в них производств, подразделяются на ряд категорий по взрывопожарной и пожарной опасности.

По санитарной характеристике в соответствии со СНИП 2.09.04-87 [9] производственные процессы гидроочистки и каталитического риформинга относятся к группе 3б.

Наличие аппаратов, работающих при высоких давлениях и температурах, содержащих большое количество продуктов в газообразном и парообразном состоянии, создает опасность загазованности территории с последующим взрывом, загоранием или отравлением обслуживающего персонала.

Наиболее опасными местами на установке являются:

- помещение газовой компрессорной;
- реакторный блок;
- блок печей, а в самих печах – фронт основных и пилотных горелок, трубы змеевиков и фланцевых соединений;
- открытая насосная и постамент;
- блок ректификационных колонн;
- места отбора газообразных проб для лабораторных анализов;
- все колодцы промканализации и оборотного водоснабжения, где возможны скопления паров бензина и углеводородных газов.

Основными причинами, способными привести к аварии, являются следующие факторы:

- отступление от норм установленного технологического режима эксплуатации;
- разгерметизация фланцев трубопроводов или аппаратов с нефтепродуктами;
- неисправность средств сигнализации и блокировки технологического процесса;
- несоблюдение инструкций по промышленной безопасности и противопожарных правил.

Пожаровзрывоопасность веществ и материалов – совокупность свойств, характеризующих их способность к образованию горючей (пожароопасной или взрывоопасной) среды, характеризующая их физико-химическими свойствами и (или) поведением в условиях пожара. Следствием горения, в зависимости от его скорости и условий протекания, могут быть пожар (диффузионное горение) или взрыв (дефлаграционное горение предварительно перемешанной смеси горючего с окислителем) (ГОСТ 12.1.044-89 [10]).

Показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов определяют с целью получения исходных данных для разработки систем по обеспечению пожарной безопасности и взрывобезопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004-91 [11] и ГОСТ 12.1.010-76 [12], строительных норм и правил, правил устройства электроустановок; при классификации опасных грузов по ГОСТ 19433-88 [13]; для выбора категории помещений и зданий в соответствии с требованиями норм технологического проектирования; для технического надзора за изготовлением материалов и изделий при постройке и ремонте судов.

Пожаровзрывоопасность веществ и материалов определяется показателями, выбор которых зависит от агрегатного состояния вещества (материала) и условий его применения.

Основные требования по пожарной безопасности производства при эксплуатации [14]:

- строгое соблюдение норм технологического режима – порядка и правил ведения технологических процессов на всех составляющих установки;
- обязательное выполнение обслуживающим персоналом производственных инструкций, правил по производственной безопасности, пожарной и газовой безопасности,
- бесперебойное снабжение установки сырьём, паром, водой, электроэнергией, воздухом КИП, азотом;

- выполнение всего комплекса технических и организационных мероприятий по поддержанию на высоком уровне пожаровзрывобезопасности всего технологического оборудования, технической надёжности КИП и обеспечивающих систем;
- высокий уровень профессиональной подготовки промышленного производственного персонала;
- постоянная готовность сил и средств к локализации аварий и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Во всех помещениях на производстве предусмотрена пожарная сигнализация. Сигналы от датчиков пожарной сигнализации подаются на щиты управления. В качестве датчиков используются пожарные сигнализации взрывозащищенные. Для тушения пожаров или возгораний на установке применяются следующие средства пожаротушения [14]:

- ручные порошковые огнетушители ОП-5, ОП-10, ОП-50;
- углекислотные огнетушители ОУ-6;
- пожарные ящики с песком в комплекте;
- пожарные рукава.

На территории установки установлены пожарные щиты, укомплектованные огнетушителями ОП-5, ОП-10, ОУ-6, кошмой, лопатами.

В соответствии с «Требованиями к установке сигнализаторов и газоанализаторов» (ТУ-ГАЗ-86) [15] на наружной площадке и в помещениях устанавливаются стационарные автоматические сигнализаторы до взрывоопасных концентраций, кроме того, в помещениях – сигнализаторы предельных токсических концентраций.

Для предотвращения несчастных случаев и травматизма необходимо:

- содержать полы, лестницы и обслуживающие площадки в чистоте и свободными от инструментов и других оставленных предметов;
- во время ремонтных работ части оборудования мусор следует убирать в специально отведенные для этого места;

- замасленную и испачканную краской ветошь держать в металлических контейнерах с герметически подогнанными крышками;
- ограждения, соединения, ремни и т.д., которые были сняты для ремонта, должны быть возвращены на место;
- инструменты, куски труб и т.д. никогда не следует оставлять лежащими на площадках и перилах, откуда они могут упасть и травмировать работающих;
- доступ к лестницам и пожарным выходам всегда должен быть свободным;
- огнетушители должны перезаряжаться или заменяться немедленно, после использования. Все паровые и водяные шланги должны быть возвращены на место после использования;
- газовые баллоны следует складировать так, чтобы они не могли упасть. На вентили баллонов, которые не подсоединены, нужно помещать защитные колпачки;
- если электрическое оборудование не функционирует правильно, оповестить электротехническую службу и не приближаться к неисправному оборудованию, пока не прибудет электрик;
- для очистки использовать только рекомендованные растворители;
- проливы жидкости немедленно убирать.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно статье 224 ТК РФ работодатель обязан соблюдать ограничения на привлечение отдельных категорий работников к выполнению тяжелых работ, работ во вредных и (или) опасных условиях. Например, трудовое законодательство ограничивает использование труда женщин на работах в тяжелых, вредных или опасных условиях (ст. 253 ТК РФ).

Молодые люди, не достигшие 18 лет, на вредные или опасные работы не допускаются. Об этом говорится в статье 265 ТК РФ.

У сотрудников занятых на работах во вредных или опасных условиях, продолжительность рабочего времени сокращается на 4 часа в неделю. То есть она не должна превышать 36 часов в неделю (ч. 1 ст. 92 ТК РФ). При этом ежедневная рабочая смена при 36-часовой рабочей неделе не может превышать 8 часов, а при рабочей неделе 30 часов и менее – 6 часов (ч. 2 ст. 94 ТК РФ) [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для исследований данной работы применялась компьютерная моделирующая программа «Контроль катализатора», которая была создана в Томского политехнического университета. Посредством этой программы выполнялись все расчеты, а также мониторинг процесса каталитического риформинга.

Объект исследования данной работы — промышленная установка каталитического риформинга. Установка предназначена для получения высокооктанового компонента автомобильных бензинов и технического водорода. Водородсодержащий газ (технический водород) в дальнейшем применяется как сырье установки производства водорода или для гидроочистки топлив. Чтобы оценить меру влияния изменения технологических характеристик и состава входного сырья на результаты эксплуатации установки в целом, учитывались различные параметры процесса. В результате получены данные о том, что с повышением температуры октановое число, рассчитанное по исследовательскому методу, также повышается. Так происходит из-за того, что рост температуры обуславливает образование ароматических углеводородов, а выход риформата снижается при повышении температуры. Повышение расхода сырья негативно воздействует на выход ароматических углеводородов и октановое число катализата. Такой вывод можно сделать, изучив воздействие расхода сырья на процесс риформинга. Математическая модель и компьютерная программа, созданная на ее принципах, чрезвычайно удобны для решения многих технологических задач, что демонстрируют расчеты, выполненные в ходе исследования. В представленном в работе исследовании было изучено влияние различных технологических критериев на протекание каталитического риформинга. Подбор идеальных технологических условий для функционирования катализатора, которые помогут получить наилучшие результаты от его эксплуатации, является задачей, зависящей от множества

важных моментов, в первую очередь, от реакционной способности углеводородов – компонентов сырья.

В результате выполнения целей 4 раздела можно сделать следующие выводы:

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

2. В ходе планирования для руководителя и студента был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 74 дней; общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер, составляет 49 дней; общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель, составляет 38,5 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 309825,4 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,47, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,7, по сравнению с 4,5 и 3,8;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,7, по сравнению с 4,5 и 3,8, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

В 5 разделе выпускной квалификационной работы были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы установки каталитического риформинга, оказывающие влияние на здоровье человека, а также нормативные документы, регулирующие их воздействие на человека. Были

описаны мероприятия по снижению уровня воздействия этих факторов, влияние технологического процесса на экологическую безопасность. Также были выявлены возможные виды аварийного состояния объекта, поэтому предусмотрены способы их устранения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 2 ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 3 ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 4 ГОСТ 12.1.018-93 ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества.
- 5 СанПиН 2.24/2.1.8.562-93. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территориях жилой застройки.
- 6 ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
- 7 ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 8 ГОСТ 12.4.124-83. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.
- 9 СНиП 2.09.04-87. Административные и бытовые здания.
- 10 ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
- 11 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 12 ГОСТ 12.1.010-76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования.
- 13 ГОСТ 19433-88 Грузы опасные. Классификация и маркировка.
- 14 НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
- 15 ТУ-ГАЗ-86. Требования к установке сигнализаторов и газоанализаторов.
- 16 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022)

- 17 Кондрашева Н.К., Кондрашев Д.О., Абдульминев К.Г. Технологические расчеты и теория каталитического риформинга бензина. – Уфа: ООО «Монография», 2008. – 160с.
- 18 Мирошникова Д.Н., Леденёв С.М. Совершенствование процесса каталитического риформинга бензиновой фракции//Успехи современного естествознания. – 2010. – №1 – 162с.
- 19 Суханов В.П. Каталитические процессы в нефтепереработке. М., «Химия».
- 20 <http://www.pandia.ru/text/78/059/91337-3.php>
- 21 Смидович Е.В. Технология переработки нефти и газа. Часть вторая. М., «Химия», 1968.
- 22 Полубоярцев Д.С. Выбор и оценка эффективности Pt- катализаторов процесса риформинга бензинов с применением моделирующей системы. Томск, 2007, 24с.
- 23 Владимиров А.И. Установки каталитического риформинга. – М.: Нефть и газ, 1993, 60с.
- 24 С. А. Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов; Под ред. С. А. Ахметова. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие. — СПб.: Недра, 2006, 868 с.
- 25 <http://msd.com.ua/pererabotka-nefti/kataliticheskij-riforming/>
- 26 Мирошникова Д.А., Леденёв С.М. Совершенствование процесса каталитического риформинга бензиновой фракции. Волгоград: успехи современного естествознания, №1, 2010.
- 27 Круценко А. А., Борисов А. А., Соловьев В. А. Моделирование режимов работы блока стабилизации установки каталитического риформинга. Вестник ТОГУ. № 4(27). 2012.
- 28 Шарова Е.С., Фалеев С.А., Иванчина Э.Д., Гынгазова М.С., Полубоярцев Д.С., Кравцов А.В. Динамика свойств pt-катализаторов риформинга в процессе промышленной эксплуатации. Журнал «Катализ в промышленности», № 3, 2013.

- 29 Джамбекова А.М., Щербатов И.А. Управление процессом каталитического риформинга на основе экспертной информации. Томск: Системы. Методы. Технологии, № 4 (24), 2014.
- 30 Чеканцев Н.В., Иванчина Э.Д., Чузлов В.А., Куртуков В.А. Оптимизация состава перерабатываемого сырья на установках каталитического риформинг бензинов и изомеризации пентангексановой фракции с использованием комплексной математической модели «HYSYS IZOMER ACTIV». Томск: Фундаментальные исследования №8, 2013.
- 31 Имашев У.Б., Тюрин А.А., Удалова Е.А. Особенности развития процесса каталитического риформинга в России. Башкирский химический журнал, том 16. № 4, 2009.
- 32 Гынгазова М.С., Чеканцев Н.В., Короленко М.В., Иванчина Э.Д., Кравцов А.В. Оптимизация кратности циркуляции катализатора в реакторе риформинга с движущимся зернистым слоем сочетанием натурального и вычислительного экспериментов. Томск: Катализ в промышленности, № 2, 2012.
- 33 Гартман В.Л., Обысов А.В., Дульнев А.В. Промышленные катализаторы риформинга углеводородов и тенденции их оптимизации. М: Катализ в промышленности. № 5. 2007.
- 34 Кондрашев Д.О., Ахметов А.Ф. Совершенствование промышленного процесса каталитического риформинга бензина путем применения технологии межступенчатого разделения риформата. Уфа: Башкирский химический журнал, том 13 №4, 2006.
- 35 Петров П.А. Моделирование процесса каталитического риформинга. Санкт-Петербург: научный журнал "Фундаментальные исследования" №12, 2007.
- 36 http://www.rosneft.ru/Downstream/refining/Refineries/Komsomolsk_Refinery/
- 37 <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
- 38 Методические указания к лабораторной работе для студентов химикотехнологического факультета / сост. Е.С. Шарова, Н.В. Чеканцев, Е.Н.

Ивашкина, Э.Д. Иванчина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 32 с.

39 Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Кауфман А.А. Технология переработки нефти, газа и ТГИ. – П.: Недра, 2009. – 832 с. 2. Эрих В.Н., Расина М.Г. Химия и технология нефти и газа. Л.: Химия, 2010. – 368 с.

40 Системный анализ химико-технологических процессов / сост. Е.С. Шарова, А.В. Кравцов, Е.Н. Ивашкина, Э.Д. Иванчина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 95 с.

41 Рыжакина Т.Г. Экономика и управление производством. Расчет экономической части дипломного проекта: методические указания для студентов, обучающихся по химическим специальностям Института дистанционного образования. Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 22 с.

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