

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

Институт Природных Ресурсов  
 Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»  
 Кафедра ХТТ и ХК

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Моделирование процесса риформинга бензинов с непрерывной регенерацией катализатора</b>

УДК 665.73.092.81-047.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К31	Дорошенко Анастасия Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент. каф. ХТТ и ХК	Чернякова Е.С.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Немцова Ольга Александровна	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

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

Институт Природных Ресурсов  
Направление подготовки (специальность) «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»  
Кафедра ХТТ и ХК

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой ХТТ и ХК

\_\_\_\_\_  
(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
2К31	Дорошенко Анастасии Сергеевне

Тема работы:

<b>Моделирование процесса риформинга бензинов с непрерывной регенерацией катализатора</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 31.01.2017г. № 420/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31 мая 2017
--	-------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – установка каталитического риформинга ОАО «Газпромнефть-Омский НПЗ» Л-35-11/1000. Исходные данные по технологическому режиму. Составы сырья и продуктов риформинга.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <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>	<p>Введение</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1 Основные теоретические положения процесса риформинга бензина<ol style="list-style-type: none"><li>1.1 Сырье для процесса риформинга</li><li>1.2 Химические закономерности</li><li>1.3 Катализаторы риформинга</li><li>1.4 Условия каталитического риформинга</li><li>1.5 Установка риформинга с непрерывной регенерацией катализатора</li></ol></li><li>2 Литературный обзор</li></ol>

	2.1 Обзор современных катализаторов риформинга 2.2 Применение метода математического моделирования для анализа процесса риформинга 3 Экспериментальная часть 3.1 Объект и метод исследования 3.2 Мониторинг работы промышленной установки 3.3 Исследование влияния состава сырья 3.4 Исследование влияния различных технологических параметров на эффективность процесса 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность Заключение Список использованных источников Приложение А
--	---

**Перечень графического материала**

*(с точным указанием обязательных чертежей)*

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Рыжакина Татьяна Гавриловна, Кафедра менеджмента, доцент, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Немцова Ольга Александровна, Кафедра ЭБЖ, ассистент

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.02.17 г.
--	-------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ХТТ и ХК	Чернякова Е.С.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К31	Дорошенко Анастасия Сергеевна		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2К31	Дорошенко Анастасии Сергеевне

<b>Институт</b>	<b>Природных ресурсов</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ХТТ и ХК</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

<p>1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, информационных и человеческих, финансовых,</i></p>	<p><i>Использование информации, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах и изданиях, нормативно-правовых документах.</i></p>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

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

<p>1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i></p>	<p><i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.</i></p>
<p>2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i></p>	<p><i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i></p>
<p>3. <i>Планирование процесса управления НИТ: структура и график проведения, бюджет, риски.</i></p>	<p><i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИТ.</i></p>
<p>4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективностей.</i></p>	<p><i>Проведение оценки экономической эффективности исследования.</i></p>

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

<p>1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>                  2. <i>Матрица SWOT</i>                  3. <i>График проведения и бюджет НИТ</i>                  4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИТ</i>                  5. <i>Сравнительная эффективность разработки</i></p>
---

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2К31	Дорошенко Анастасия Сергеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2К31	Дорошенко Анастасии Сергеевне

<b>Институт</b>		<b>Кафедра</b>	
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Энерго-ресурсосберегающие процессы химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	<i>Установка каталитического риформинга ОАО «Газпромнефть - Омский НПЗ» Л-35-11/1000.</i>
---	---

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p><i>К вредным факторам относят:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Превышение уровней шума и вибрации.</i></li> <li>• <i>Повышенная загазованность воздуха рабочей среды.</i></li> </ul> <p><i>К опасным факторам относятся:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Электробезопасность.</i></li> <li>• <i>Пожарная безопасность.</i></li> <li>• <i>Давление.</i></li> </ul>
---	--

<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p><i>Главной проблемой на НПЗ является проблема охраны производственной и окружающей среды.</i></p> <p><i>Защита селитебной зоны и других различных объектов от воздействия примесей осуществляется санитарно – защитными зонами.</i></p> <p><i>Основными источниками загрязнениями атмосферы являются выбросы из оборудования и очистных сооружений.</i></p> <p><i>Основными источниками загрязнения гидросферы являются сбросы НПЗ, которые попадают в сточные воды и отрицательно влияют на качество воды и санитарные условия жизни.</i></p> <p><i>Загрязнение почвы нефтепродуктами является опасным явлением, которое угрожает флоре и фауне.</i></p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p><i>Чрезвычайные ситуации (ЧС) могут быть техногенного, природного, биологического, социального или экологического характера.</i></p> <p><i>Пожары и взрывы относятся к ЧС техногенного характера.</i></p> <p><i>Требования по пожарной безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Строгое соблюдение норм технологического режима;</i></li> <li>• <i>Высокий уровень профессиональной подготовки персонала;</i></li> <li>• <i>Бесперебойное снабжение установки сырьем, паром и водой.</i></li> <li>• <i>Постоянная готовность персонала к ликвидации последствий ЧС.</i></li> </ul> <p><i>Для тушения возгораний на установке применяются различные средства пожаротушения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Пожарные рукава;</i></li> <li>• <i>Ручные порошковые огнетушители;</i></li> <li>• <i>Пожарные ящики с песком;</i></li> <li>• <i>Углекислотные огнетушители.</i></li> </ul>

<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p><i>Согласно статье 224 ТК РФ работодатель обязан соблюдать ограничения на привлечение отдельных категорий работников к выполнению тяжелых работ, работ во вредных или опасных условиях.</i></p>
--	--

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Немцова Ольга Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К31	Дорошенко Анастасия Сергеевна		



## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ООП 18.03.02)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,14,16,17,18), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11 ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго-ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,7,10,12,13,14,17 ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа 84 с., 15 рис., 29 табл., 51 источник, 1 прил.

Ключевые слова: каталитический риформинг, катализатор, октановое число, математическое моделирование.

Объектом исследования является промышленная установка процесса каталитического риформинга ОАО «Газпромнефть – Омский НПЗ» Л-35-11/1000.

Цель работы – Анализ факторов, влияющих на качество и выход целевого продукта процесса каталитического риформинга. Оптимизация режимов работы действующей установки с использованием компьютерной моделирующей системы.

В процессе исследования проводилась проработка литературы, анализ влияния технологических параметров на работу промышленной установки методом математического моделирования с помощью компьютерной программы «Aktiv+C».

В результате исследования провели мониторинг работы промышленной установки риформинга, оценили влияние состава сырья и технологических параметров на эффективность процесса, подобрали оптимальные режимы ведения процесса.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики приведены в третьем разделе работы.

Область применения: нефтеперерабатывающая промышленность.

## Оглавление

Введение.....	6
1 Основные теоретические положения процесса риформинга бензина.....	7
1.1 Сырье для процесса риформинга .....	7
1.2 Химические закономерности реакций риформинга.....	8
1.3 Катализаторы риформинга.....	9
1.4 Условия каталитического риформинга.....	11
1.5 Установка риформинга с непрерывной регенерацией катализатора.....	13
2 Литературный обзор .....	17
2.1 Обзор современных катализаторов риформинга.....	17
2.2 Применение метода математического моделирования для анализа процесса риформинга .....	24
3 Экспериментальная часть.....	29
3.1 Объект и метод исследования.....	29
3.2 Мониторинг работы промышленной установки.....	33
3.3 Исследование влияния состава сырья.....	36
3.4 Исследование влияния различных технологических параметров на эффективность процесса .....	39
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	46
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	46
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	46
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	46
4.1.3 SWOT-анализ .....	48
4.2 Определение возможных альтернатив проведения исследований.....	51
4.3 Планирование научно-исследовательских работ .....	51
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	51
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	52
4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	54
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	58

4.4.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	58
4.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	59
4.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	60
4.4.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	62
4.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	63
4.4.6	Расчет затрат на научные и производственные командировки .....	63
4.4.7	Накладные расходы .....	64
4.4.8	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	64
4.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	65
5.	Социальная ответственность.....	68
5.1	Производственная безопасность .....	68
5.1.1	Анализ вредных факторов.....	69
5.1.1.1	Повышенный уровень шума на рабочем месте .....	69
5.1.1.2	Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны .....	69
5.1.2	Анализ опасных факторов.....	70
5.1.2.1	Электробезопасность .....	70
5.1.2.2	Пожарная безопасность .....	71
5.1.2.3	Давление.....	72
5.2	Экологическая безопасность .....	73
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	74
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	75
5.4.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	75
5.4.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	76
6.	Заключение .....	77
	Список использованных источников .....	78
	Приложение А .....	83

## **Введение**

В настоящее время каталитический риформинг один из ведущих процессов нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Риформинг – процесс переработки бензиновых и лигроиновых фракций нефти, предназначенный для производства компонентов высокооктановых бензинов, ароматических углеводородов и водородсодержащего газа (ВСТ).

Постоянно ведется поиск наиболее эффективных вариантов его аппаратного оформления и способов интенсификации работы промышленных реакторов большой единичной мощности.

Целью работы является моделирование процесса, анализ факторов, влияющих на качество и выход целевого продукта процесса каталитического риформинга, а также оптимизация режимов работы действующей установки.

Для решения поставленной цели нужно решить следующие задачи:

- 1) Моделирование процесса и оценка адекватности модели реальным промышленным данным с установки.
- 2) Проанализировать влияние состава сырья установки;
- 3) Анализ степени влияния технологических параметров процесса на данную установку;
- 4) Выбор оптимального технологического режима работы установки каталитического риформинга с непрерывной регенерацией катализатора.

## **1 Основные теоретические положения процесса риформинга бензина**

Каталитический риформинг – это сложный химический процесс, который включает разнообразные реакции. Эти реакции позволяют преобразовывать углеводородный состав бензиновых фракций, и тем самым значительно улучшить их детонационные свойства (способность топлива противостоять самовоспламенению при сжатии) [1].

Кроме улучшения детонационных свойств, риформинг используют для получения ароматических углеводородов (бензол, толуол, ксилол). Большая часть ароматики используется как компонент автобензина, возможно использование для получения смол и лаков. Также в ходе процесса получают водородсодержащий газ (ВСГ), который значительно дешевле специально получаемого водорода; данный ВСГ используется в следующих процессах, таких, как гидрокрекинг, гидроочистка, изомеризация и т.д. Кроме ВСГ из газов каталитического риформинга выделяют сухой ( $C_1$ - $C_2$  или  $C_1$ - $C_3$ ) и сжиженный газы ( $C_3$ - $C_4$ ); в результате получают стабильный дебутанизированный бензин.

### **1.1 Сырье для процесса риформинга**

В качестве сырья обычно используют бензиновые фракции первичной переработки нефти с пределами выкипания 62-180 °С, для получения ароматики  $C_6$  – фракции 62-85 °С,  $C_7$  – 85-105 °С,  $C_8$  – 105-140 °С,  $C_7$ - $C_9$  – это фракции 85-180 °С. Так же, как сырье используют бензины вторичных процессов после облагораживания, а именно бензинов термического крекинга, висбрекинга и коксования. Вторичные дистилляты содержат высокие концентрации парафинов (50 % масс.), нафтенов (40 % масс.) и ароматических углеводородов (10 % масс.).

Качество сырья для процесса риформинга определяется его фракционным и химическим составом. Фракционный состав зависит от целевых продуктов процесса, а химический – от перерабатываемой нефти на конкретном химическом заводе. Фракционный состав влияет на выход риформата, выход ароматики и октанового числа, а также скорость образования кокса.

Подготовка сырья риформинга включает в себя ректификацию и гидроочистку. Для выделения определенных фракций бензинов в зависимости от назначения процесса используется ректификация. При гидроочистке из сырья удаляют нежелательные примеси: сернистые соединения (не должно превышать  $10^{-4}$  % масс.), азотистые соединения ( $0,5 \times 10^{-4}$  % масс.) и др., которые отравляют катализаторы риформинга, также это способствует большей продолжительности работы катализатора без регенерации [2].

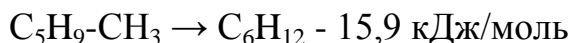
## 1.2 Химические закономерности реакций риформинга

В процессе риформинга выделяют основные химические реакции, приводящие к получению ароматических углеводородов:

- Дегидрирование нафтеновых углеводородов в ароматические:



- Изомеризация пятичленных циклоалканов в производные циклогексана:



- Изомеризация n-алканов в изоалканы. Наравне с изомеризацией пятичленных и шестичленных нафтенов, изомеризации подвергаются как парафины, так и ароматические углеводороды:

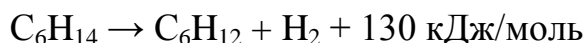


- Дегидроциклизация алканов в ароматические углеводороды (ароматизация):

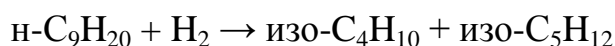


Наряду с выше упомянутыми реакциями, протекают нежелательные реакции гидрокрекинга с образованием как низко-, так и высокомолекулярных углеводородов, изомеризация боковых цепей аренов, изомеризация алканов, реакции конденсации аренов и алкенов, которые приводят к образованию продуктов уплотнения – кокса, который откладывается на поверхности катализатора.

- Дегидрирование алканов в олефины:



- Гидрокрекинг алканов:



Побочные реакции полимеризации, которые приводят к коксообразованию (подавляют, подбирая температуру и давление).

### 1.3 Катализаторы риформинга

Процесс каталитического риформинга осуществляют на бифункциональных катализаторах, которые сочетают кислотную и гидрирующую (дегидрирующую) функции. Кислотной функцией обычно обладает сам носитель катализатора, в качестве которого используют оксид алюминия, а вторая функция нужна для ускорения некоторых реакций, таких как реакций дегидрирования и гидрирования. Ранее основными катализаторами являлись оксидные, такие как алюмомолибденовые катализаторы. Данный катализатор содержит около 10 % оксида молибдена, нанесенного на основу, которая состоит из оксида алюминия (90 %) [3]. Главным плюсом этого катализатора является высокая сероустойчивость. Однако с разработкой более совершенных платиновых катализаторов спрос на алюмомолибденовые катализаторы упал.

Следующей группой катализаторов являлись монометаллические. Эти катализаторы представляют собой платину, которая нанесена на  $\gamma$ - или  $\eta$ -оксид



алюминия, промотированный галогенами. Очень распространённым был промотированный хлором алюмоплатиновый катализатор, который позже полностью вытеснил катализаторы, промотированные фтором. Моноплатиновый катализатор был очень распространен, так как обладал более высокой активностью и селективностью за счет содержания платины от 0,1 до 1 %, а также и стабильностью по сравнению с алюмомолибденовым катализатором. Однако из-за высокого содержания платины в катализаторе и ее стоимости исследователям пришлось искать новый тип активного контакта.

Переход на би- и полиметаллические катализаторы - новый период в развитии промышленного риформинга. Эти катализаторы приготовлены на хлорированном оксиде алюминия, в которых содержится не только платина, но и другие элементы периодической системы. Так, к платинорениевому катализатору добавлялся третий компонент, в качестве этого компонента может быть хром, вольфрам, германий, молибден и иридий. У данного катализатора есть свое преимущество перед монометаллическими платиновыми катализаторами - это высокая стабильность, которое выражается в том, что условие снижения активности будет происходить значительно медленнее [4]. В течение последних уже 35 лет и более, би- и полиметаллические катализаторы постоянно обновлялись и становились только улучшенными, в настоящее же время в промышленность введено более 100 марок катализаторов риформинга.

Но если говорить о катализаторах, которые используются на установке риформинга с непрерывной регенерацией катализатора (НРК), то используют биметаллические (Pt-Re) катализаторы. Благодаря непрерывной регенерации катализатора удастся поддерживать более высокий уровень его активности, чем в системах со стационарным слоем катализатора. Процесс с участием данного платино-рениевого катализатора можно проводить при 470-520 °С. Также эти катализаторы характеризуются повышенной стабильностью и повышают степень ароматизации сырья [5].

Также на установке риформинга с НРК используется катализатор RC-12, его разработали ООО "НПП Нефтехим". Данный катализатор является высокоактивным платино–оловянным катализатором и предназначен для получения риформата с максимальным выходом  $C_5+$  и водорода за счет высокой селективности, и октановым числом. Катализатор RC-12 обеспечивает эксплуатационную гибкость ведения процесса благодаря высокой плотности катализатора, низкое образование кокса при жестких режимах работы, минимальное снижение удельной поверхности в течение всего срока эксплуатации катализатора, длительный срок службы и высокую механическую прочность, которое обеспечивает минимальное истирание и образование пыли [6].

#### **1.4 Условия каталитического риформинга**

К основным параметрам режима риформинга, от которых зависят выход и состав высокооктановых бензиновых фракций – компонентов товарных бензинов, относят объемную скорость подачи сырья (ОСПС), давление, температура и кратность циркуляции (ВСТ) в системе. Значения данных технологических параметров изменяются в зависимости от применяемого катализатора и времени его работы после очередной регенерации, от типа сырья, а также от целевого назначения процесса – выработки компонентов моторного топлива или ароматических углеводородов [1].

- Давление. Варьирование давления осуществляется в диапазоне 1-3,5 МПа. Повышение давления способствует более длительной работе катализатора, следовательно, это происходит, потому что закоксовывание катализатора (в особенности платины) и чувствительность его к отравлению сернистыми и другими ядами значительно уменьшаются. Увеличение давления также увеличивает скорость реакций гидрокрекинга и деалкилирования, при этом равновесие сдвигается в сторону

образования парафинов. Снижение рабочего, а в свою очередь, и парциального давления водорода способствует увеличению степени ароматизации парафиновых и нафтеновых углеводородов. Следовательно, можно сделать вывод, что лучше использовать повышенное давление.

- Температура. Если повысить температуру, то это способствует образованию ароматических углеводородов и препятствует протеканию обратной реакции, а также превращению некоторых изомеров нафтеновых углеводородов в парафиновые, которые легче подвергаются реакции гидрокрекинга. Повышенная температура в процессе каталитического риформинга также благоприятствует снижению концентрации водорода в циркулирующем газе и уменьшению выхода стабильного бензина. Это объясняется тем, что при более высоких температурах увеличивается роль гидрокрекинга. С увеличением температуры возрастает выход более легких углеводородов, таких как, пропан, н-бутан и изобутан (очевидно, это происходит за счет усиления реакций гидрокрекинга углеводородов, как содержащихся в сырье, так и вновь образующихся в процессе каталитического риформинга). При уменьшении температуры будет уменьшаться содержание ароматики в бензине и будет низкое октановое число. В результате чего образование водорода и давление насыщенных паров бензина увеличивается, также будет возрастать содержание в нем фракций, выкипающих до 100 °С [7]. В процессе риформинга температуру изменяют в пределах 480-520 °С. Оптимальную температуру стоит подбирать с учетом разных параметров процесса, прежде всего, обращая внимание, на качество сырья и катализатора [8].
- Объемная скорость. Объемная скорость подачи сырья (ОСПС) лежит в пределах 1,3-2,0 ч<sup>-1</sup>. В результате повышения ОСПС будет уменьшаться время контакта реагирующих и промежуточных продуктов с

катализатором. Повышение объемной скорости снижает выход водорода и легких углеводородов и важно отметить, что уменьшается выход ароматических углеводородов, а также увеличивает выход стабильного продукта и содержание водорода в циркулирующем газе. В итоге, с повышением объемной скорости ресурсы ароматических углеводородов при каталитическом риформинге снижаются, а выход бензина, хотя и увеличивается, но октановое число при этом становится меньше; давление насыщенных паров бензина и содержание в нем ароматических углеводородов и фракций, выкипающих до 100 °С, также уменьшаются. При увеличении ОСПС главную роль в процессе начинают играть реакции, которые протекают быстрее: гидрокрекинг тяжелых парафиновых углеводородов, дегидрирование нафтеновых углеводородов и изомеризация углеводородов C<sub>4</sub> и C<sub>5</sub>. Что же касается реакций, требующих больше времени (дегидроциклизации, деалкилирования и гидрокрекинга легких углеводородов), их роль снижается [7]. Оптимальное значение объемной скорости назначают с учетом жесткости процесса, качества сырья и стабильности катализатора [9].

### **1.5 Установка риформинга с непрерывной регенерацией катализатора**

В настоящее время установки риформинга описывают тремя разновидностями технологий:

- с периодической регенерацией (стационарный слой катализатора). Регенерация осуществляется одновременно во всех реакторах, т.е. происходит остановка технологического процесса;
- с короткими межрегенеративными циклами (стационарный слой катализатора). Регенерация осуществляется в одном из реакторов, а вместо него подключается резервный реактор;

- с непрерывной регенерацией (движущийся слой катализатора). Регенерация осуществляется в главном реакторе, который состоит из 4 последовательно соединенных реакторов, расположенных друг над другом [10].

Преимущества риформинга с движущимся слоем катализатора: постоянство выхода и качества получаемого риформата и ВСГ, непрерывность процесса, возможность эксплуатации установок в жестком режиме с глубокой ароматизацией сырья при низком давлении (0,7-1,2 МПа) и низком молярном отношении (Рис.1).

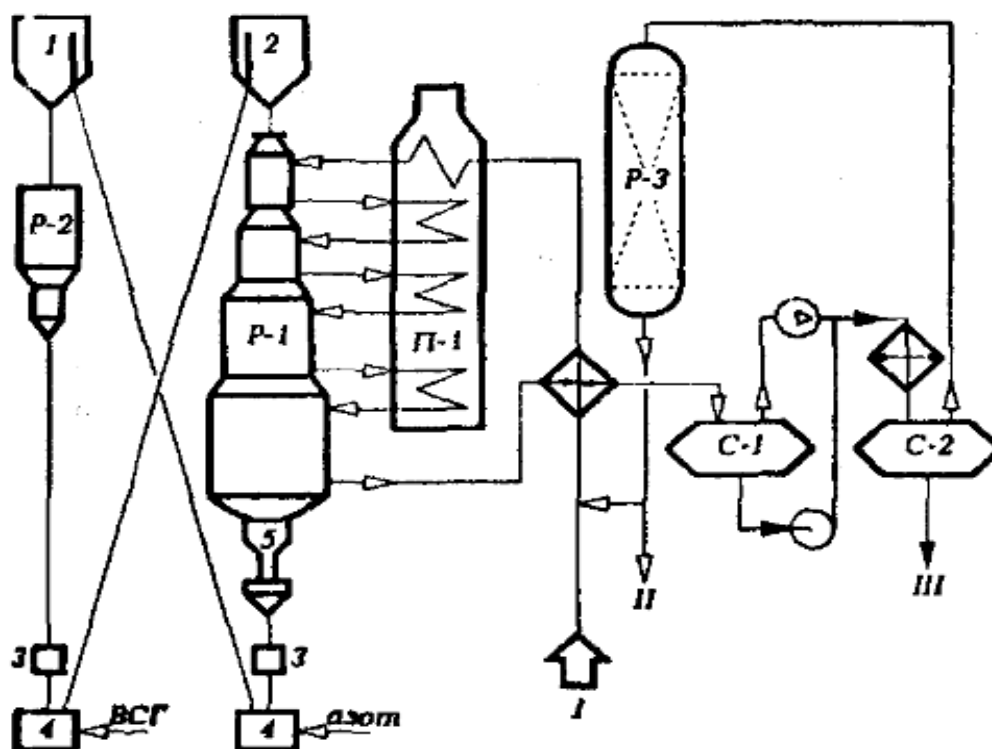


Рисунок 1 - Принципиальная технологическая схема установки риформинга с непрерывной регенерации катализатора: 1 - бункер закоксованного катализатора; 2 - бункер регенерированного катализатора; 3 - шлюз (затворный бункер); 4 - дозатор (питатель); 5 - разгрузочное устройство; П-2 - блок печей; P-1 - реакторная колонна; P-2 - регенератор; P-3 - теплообменник; C-1 - сепаратор низкого давления; C-2 - сепаратор высокого давления; I- гидроочищенное сырье; II - ВСГ; III - риформат на стабилизацию

Первая установка риформинга с непрерывной регенерацией катализатора фирмы UOP была пущена в 1971 г. По данным к 1983 г. в разных странах в эксплуатации находилось 35 установок платформинга с непрерывной регенерацией и более 50 установок подобного типа проектировалось и строилось. А в настоящее время работает 163 установки (в том числе 40 с давлением 0,35 МПа) по лицензии ЮОП и 56 установок по лицензии Французского института нефти.

Четыре реактора риформинга (Р-1) располагаются друг над другом и связаны между собой системами переточных труб малого диаметра. Шариковый катализатор диаметром 1,6 мм из реактора в реактор свободно перетекает под действием силы тяжести. Из последнего реактора четвертой ступени через систему затворов с шаровыми клапанами катализатор поступает в питатель-дозатор, откуда азотом подается в бункер закоксованного катализатора узла регенерации. Регенератор (Р-2) представляет собой аппарат с радиальным потоком реакционных газов, разделенный на три технологические зоны: в верхней при мольном содержании кислорода менее 1 % производится выжиг кокса; в средней при содержании кислорода 10-20 % и подаче хлорорганического соединения - окислительное хлорирование катализатора, а в нижней зоне катализатор прокаливается в токе сухого воздуха. Разобшение зон - гидравлическое. Катализатор проходит все зоны под действием силы тяжести. Из регенератора через систему шлюзов-затворов катализатор поступает в питатель-дозатор пневмотранспорта и водородсодержащим газом подается в бункер-наполнитель, расположенный над реактором первой ступени. Процесс регенерации автоматизирован и управляется электронно-вычислительной машиной (ЭВМ). Систему регенерации при необходимости можно отключить без нарушения режима риформирования сырья.

Поскольку процесс риформинга проводится при пониженном давлении (0,7-1,2 МПа), на установках КР с НРК применяется иная система операции ВСГ: катализат после реакторов и сырьевого теплообменника поступает в

сепаратор низкого давления С-1. Выделившиеся в нем газовая и жидкая фазы соответственно компрессором и насосом подаются в сепаратор высокого давления С-2 для выделения ВСГ с высокой концентрацией водорода. Далее продукт отправляется на стабилизацию.

## 2 Литературный обзор

### 2.1 Обзор современных катализаторов риформинга

Промышленный процесс риформинга, несмотря на полувековое существование, непрерывно совершенствуется. Это сопровождается столь же непрерывным совершенствованием катализаторов риформинга [1].

В статье [11] представлена установка каталитического риформинга типа Л-35-8/300Б. На этой установке используется каталитическая система, которая состоит из катализаторов R-56 фирмы “UOP” и *скаллопов с перфорированным исполнением проточной части*. Авторы предлагают с целью усовершенствования данной установки заменить другой системой с катализатором ПР-71 и *скаллопами с v-образными профилями целевого экрана*. Следовательно, при замене конструкции аппарата можно повысить производительность установки с 275 до 290 тыс. тонн/год, усовершенствовать качество риформата, а также увеличить концентрацию водорода в получаемом водородсодержащем газе до 87 %. В статье [12] авторы изучают влияние кокса на текстурные свойства Pt-катализатора. Авторы берут образец катализатора R-56 фирмы “UOP”, который не содержал кокса и проводят несколько испытаний. Следовательно, по таблице 1 видно, что когда увеличивают содержание кокса на катализаторе, то такие характеристики, как суммарный объем пор и удельная поверхность уменьшается, а диаметр пор изменяется в близких значениях.

Таблица 1 – Основные характеристики образца катализатора R-56

Наименование показателя	R-56 (1 образец)	R-56 (5 образец)
1 Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,875	0,973
Кажущаяся плотность, м <sup>2</sup> /г	1,37	1,52
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,87	3,09
2 Порозность слоя	0,361	0,360
3 Пористость частиц	0,523	0,510
4 Удельный суммарный объем пор	0,38	0,32
5 Удельная поверхность по методу БЭТ, мг/л	2116	1605
6 Суммарный объем пор, см <sup>3</sup> /г	0,416	0,315



Продолжение таблицы 1:

Наименование показателя	R-56 (1 образец)	R-56 (5 образец)
7 Средний диаметр пор, нм	8,8	8,0

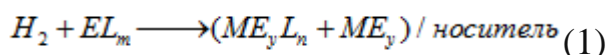
Катализаторы реформинга серии ПР представляют собой Pt, промотированную Re, равномерно распределённую на внешней и внутренней поверхности гранул оксида алюминия, модифицированного оксидом циркония (ПР-71) [13]. В таблице 2 приведена сравнительная характеристика двух катализаторов.

Таблица 2 – Сравнение катализаторов ПР-71 и R-56

Наименование показателя	Образец	
	ПР-71	R-56
<b>1 Массовая доля компонентов катализатора, %:</b>		
– платины	0,25±0,02	0,25
– рения	0,30±0,02	0,40
– хлора	1,0±0,3	1,2
- фтора	1,0±0,3	1,2
<b>2 Удельная поверхность, м<sup>2</sup>/г</b>	220	150-250
<b>3 Диаметр гранул, мм:</b>	1,6	1,2-2,2
<b>4 Коэффициент прочности, кг/мм</b>	1,2-1,5	-
<b>5 Насыпная плотность, г/см<sup>3</sup></b>	0,75	0,84
<b>6 Срок службы, лет</b>	7-9	5-8
<b>7 Межрегенерационный период, лет</b>	1-2	2-3

В статье [14], Стыценко В.Д. рассматривает новую методику для получения катализатора с заданными свойствами путем химического превращения поверхностного нанослоя предшественника катализатора. Главной идеей этой методики является «запись» информации на поверхности о последующем каталитическом процессе. Автор установил, что формирование различных структур на поверхности металлов и их оксидов регулируется двумя факторами: реакционной способностью (r) и диффузионной проницаемостью (j)

поверхности в ходе модификации с использованием топохимической реакции типа (1):



где активный металл  $M = Ni, Pd, Pt$ ; элемент  $E = Cr, Mn, Si$  или  $Sn$ ; лиганд  $L = CO, Cl$ , алкил или арил;  $m$  и  $n$  – количество лигандов, связанных с элементом, причем  $m > n$ . Обычно такие реакции начинаются вблизи различных дефектов на поверхности твердого тела, которые к тому же включают активные центры каталитических реакций. Таким образом, в ходе разложения элементоорганического соединения  $EL_m$ , первоначально элемент  $E$  будет выделяться в области дефектов на поверхности. На основе общих закономерностей превращения поверхности, кинетику накопления элемента  $E$  в ходе реакции на поверхности можно описать уравнением (2):

$$\frac{dq(E)}{dt} = r(E) - j(E) \quad (2)$$

где  $q(E)$  означает концентрацию элемента  $E$  на поверхности;  $r(E)$  и  $j(E)$  - это удельные скорости накопления  $E$  на поверхности и диффузионного потока элемента с поверхности в объем металла. Авторы статьи [15] продолжили изучение применения модифицированных полиметаллических катализаторов на примере, системе палладий-хром. В данной работе были рассмотрели основные процессы, которые происходят в процессе каталитического риформинга нефтепродуктов. По результатам исследования, авторы стали утверждать, что данный катализатор повысит долю выхода высококачественного бензина, тем самым сделает риформинг более экономически выгодным. Также отметили, что экранирование  $Pd$  слоем  $Cr$  значительно улучшает серостойкость катализатора.

В статье [16] авторы предлагают новые подходы к регенерации гетерогенных катализаторов практически важных химических процессов, к которым также относится каталитический риформинг. Экспериментальная часть данной статьи заключается в сравнении каталитических и физико-

химических характеристик трех образцов катализатора риформинга марки Ru-125 (Pt-Re/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), которые предоставили ЗАО «Промышленные катализаторы» (г. Рязань) и соответствующим разным стадиям их эксплуатации или регенерации. Первый образец А – это исходный катализатор марки Ru-125, загружаемый в промышленные реакторы. В таблице 3 приведены его характеристики.

Таблица 3 – Основные характеристики образца А

Показатель	Норма по [17]
<b>1 Массовая доля компонентов катализатора в пересчете на прокаленный при (850±10) °С, %:</b>	
– платины	0,25±0,02
– рения	0,40±0,02
– хлора	1,35±0,15
- оксид железа, не более	0,017
- оксид натрия, не более	0,01
- сульфат иона (в пересчете на серу)	Не норм.
<b>2 Насыпная плотность катализатора, г/см<sup>3</sup></b>	0,64±0,02
<b>3 Диаметр эструдатов, мм</b>	1,4±0,2
<b>4 Коэффициент прочности катализатора, кг/мм, средний, не менее</b>	1,3
<b>5 Массовая доля фракции менее 1 мм, %, не более</b>	0,1
<b>6 Удельная поверхность, м<sup>2</sup>/г</b>	250-330
<b>7 Порометрия:</b>	
$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г	234
$V_{пор}$ , см <sup>3</sup> /г	0,570
<b>8 Средний радиус пор, Å</b>	49±1

Образец Б – это катализатор, извлеченный из промышленного реактора Р-604А установки ЛЧ-35-11/600 Саратовского нефтеперерабатывающего завода. Данный катализатор прошел частичную регенерацию. А образец В – это образец катализатора Б, обработанный озоном, растворенным в СК-СО<sub>2</sub>.

В ходе испытаний были выведены некоторые результаты. Результаты говорят, что обработка озоном в СК- $CO_2$  не приводит к существенным химическим изменениям исследуемого катализатора, однако есть эффект повышения активности катализаторов. Следует отметить значительное увеличение селективности обработанного озоном катализатора по ароматическим продуктам.

Данные результаты показали возможность и эффективность низкотемпературного «выжигания» кокса с активной поверхности катализатора озоном, растворенным в сверхкритическом флюиде (в частности,  $CO_2$ ). Также можно сказать про структуру пор катализатора, что она в ходе температурного воздействия не меняется, это видно из таблицы 4.

Таблица 4 – Текстульные характеристики образцов катализатора Ru-125 (Pt-Re/ $\gamma$ - $Al_2O_3$ )

Образец	$S_{уд}, м^2/г$	$V_{пор}, см^3/г$	Средний диаметр пор, Å
Исходный (А)	281	0,642	100
Закоксованный, а затем частично регенерированный (Б)	277	0,646	118
Обработанный $O_3$ /СК- $CO_2$ (В)	289	0,658	113

В статье [18] авторы на основе лабораторных исследований разработали алюмохромокалиевый катализатор дегидроциклизации н-алканов. Так как платиновые катализаторы не обладают высокой дегидроциклизирующей активностью, даже при большом снижении давления, то главной целью проведённых исследований было разработка нового катализатора, который позволял бы переработать высокопарафинистое сырьё с максимально возможным выходом ароматических углеводородов. Авторы провели эксперименты на проточной установке, в качестве сырья они выбрали н-гексан, н-гептан и фракции при различной температуре: 70-85 °С, 85-95 °С, 85-100 °С

прямогонного бензина. В результате данного эксперимента выявили оптимальное содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , которое составляет 12-13 % на носителе  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . А для выявления оптимального количества  $\text{K}_2\text{O}$  авторы провели серию экспериментов на трёх различных катализаторах с содержанием  $\text{K}_2\text{O}$  0 %, 3 % и 5 % масс. Во всех образцах содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  составило 13 % масс., результаты представлены на рисунке 2.

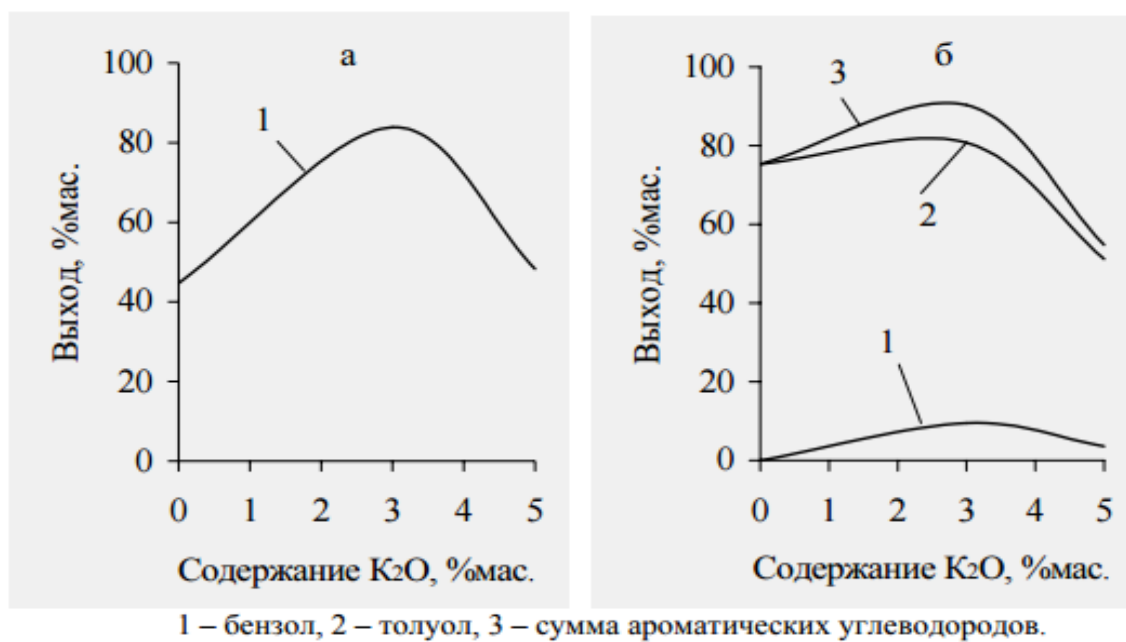


Рисунок 2- Зависимость выхода ароматических углеводородов от содержания оксида калия в алюмохромокалиевом катализаторе при ароматизации н-гексана (а) и н-гептана (б); (импульсный режим, 485 °С)

На основании данного исследования авторы сделали вывод, что оптимальное содержание максимального выхода ароматических углеводородов составляет 3 %.

В следующей статье [19] авторы предлагают катализаторы марки – РБ-33У и РБ-44У. Для этого они провели работу на установке риформинга Л-35-11/1000 Ангарского НПЗ на данных катализаторах в течение трёх лет без проведения их регенерации. Данную работу решили провести, так как перед НПЗ поставили задачу обеспечить производство реформата с октановым числом 95-97 пунктов и чтобы межремонтный пробег установки составил не

менее двух лет. После загрузки в 2004 году катализаторы РБ в начальный период проявили высокую селективность и активность. Уже через несколько дней после запуска установки был получен риформат с ОЧ 95, а в период гарантийного пробега – 97 пунктов с выходом 88,5 % масс. на сырье. В течение трёх лет установку эксплуатировали без регенерации катализаторов и данные об изменении основных показателей можно увидеть в таблице 5.

Таблица 5 – Данные об изменении основных показателей работы в течение следующего срока 2004-2007 года

Показатели	Декабрь 2004 год	Ноябрь 2007 год
1 Температура на входе в реактор, °С	487	496
2 Суммарный перепад температуры в реакторах °С	133	115
3 ОСПС, ч <sup>-1</sup>	1,2	1,2
4 Давление на выходе из реактора Р-4, МПа	1,9	1,9
5 Концентрация водорода в ВСГ, % об	84,5	82,5
6 Кратность циркуляции ВСГ (в нормальных условиях), м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1150	920
7 Выход стабильного риформата, % мас.	88,5	87,5
8 Октановое число риформата:		
ОЧИ	94,6	95,3
ОЧМ	85,0	85,5

В период работы установки произошло несколько аварийных остановок, но все же отличительные каталитические свойства данных катализаторов РБ обеспечили высокую стабильность. И после трёх лет работы без регенерации температура на входе в реактора не достигла 500 °С.

В статье [20] авторы предлагают усовершенствовать процесс каталитического риформинга таким же путем как и в статье [19], то есть заменить катализатор R-86 на катализатор РБ-33У (для первого по ходу реактора) и РБ-44У (для двух последующих). Плюсом данных катализаторов является то, что он не отличается от R-86 ни температурным режимом, ни

объемной скоростью, однако отличается увеличенным давлением. Авторы утверждают, что при полной замене катализатора на новый производительность установки повысится на 29 тыс. тонн/год за счет повышения выхода риформата до 88,5 %, но и также повысит концентрацию водорода до 84,5 % в получаемом ВСГ.

В продолжение темы усовершенствования катализаторов процесса риформинга, авторы статьи [21] предлагают использовать эффективный цеолитсодержащий катализатор H-ZSM-5. Данный катализатор помимо того что уменьшает содержание бензола в катализате, также улучшает показатели процесса на более «мягкие», то есть температура будет в пределах 350-425 °С, объёмная скорость 1,0-2,0 ч<sup>-1</sup>, а давление 0,1-1,0 МПа. При проведении авторами расчетов они установили, что при переходе на другой катализатор замена оборудования не понадобится, а при уменьшении нагрузки на печь позволит уменьшить энергозатраты блока риформинга.

Проанализировав статьи данного раздела, можно сделать вывод, что в настоящее время для повышения эффективности промышленных катализаторов исследователи в основном предлагают постоянный контроль технологических параметров или замену каталитической системы на новую.

## **2.2 Применение метода математического моделирования для анализа процесса риформинга**

Математическое моделирование промышленных каталитических процессов нефтепереработки и нефтехимии является современным научным направлением в усовершенствовании промышленных технологий, а также для подготовки специалистов современного уровня знаний [22]. В статье говорится, что полное математическое описание данного процесса формируется на основе материального и теплового балансов:

$$\begin{cases} G \frac{\partial C_i}{\partial z} + G \frac{\partial C_i}{\partial V} = (1 - \varepsilon) \sum_{j=1}^N r_j \\ G \frac{\partial T}{\partial z} + G \frac{\partial T}{\partial V} = -(1 - \varepsilon) \frac{\sum_{j=1}^N (\Delta H_j r_j)}{C_p} \end{cases} \quad i=1, \dots, M; j=1, \dots, N$$

с начальными и граничными условиями:

$$z=0: C_i = 0, T = T_{\text{нач}};$$

$$V=0: C_i = C_{i,\text{вх}}, T=T_{\text{вх}}.$$

В данной публикации [23] авторы рассматривают задачу, чтобы увеличить выход целевого продукта с заданным октановым числом (98,3) на установке каталитического риформинга Л-35-11/450К с предварительной гидроочисткой ООО «РН – Комсомольский НПЗ». В качестве объекта исследования была принята ректификационная колонна стабильного катализата, которая предназначена для разделения многокомпонентной смеси. Была поставлена задача исключения человека из цепи управления и определение оптимального технологического режима при данных условиях. Авторы для достижения цели разработали алгоритмы и методы построения математической модели. Моделирование колонны производилось с использованием программной среды MATLAB, для этого весь процесс стабилизации был разделен на функциональные блоки и зависимости. Данная нелинейная модель процесса на основе нейронных сетей позволяет решить следующие производственные задачи:

- выявить оптимальные свойства входного сырья;
- выявить оптимальные режимы работы установки.

Также использование этой разработанной модели может обеспечить экономию на уровне 0,4 % по выходу целевого продукта.

В следующей статье [24] авторы предлагают использовать для улучшения управления процессом каталитического риформинга модель идеального вытеснения, так как модели идеального смешения недостаточно эффективны. Модель РИВ представляют из совокупности уравнений материального и теплового баланса. С учётом таких реакций, как:



изомеризация, дегидрирование, дегидроциклизация и гидрокрекинг, материальный баланс авторы представляют системой дифференциальных уравнений в частных производных, которые приведены на рисунке 3. Используя математическую модель идеального вытеснения можем получить недостающую информацию и увеличить эффективность управления. С помощью данного процесса можно рассчитать в реальном времени:

- выход продукта;
- ОЧ продукта;
- концентрации компонентов смеси в реакторе;
- температуру по высоте аппарата;
- учитывать процесс дезактивации катализатора во времени.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial C(C6)}{\partial t} = -U \frac{\partial C(C6)}{\partial l} - r1 + r2 \\ \frac{\partial C(МЦП)}{\partial t} = -U \frac{\partial C(МЦП)}{\partial l} - r3 + r4 \\ \frac{\partial C(N6)}{\partial t} = -U \frac{\partial C(N6)}{\partial l} + r3 - r4 - r5 + r6 \\ \frac{\partial C(C7)}{\partial t} = -U \frac{\partial C(C7)}{\partial l} - r7 + r8 - r9 \\ \frac{\partial C(A)}{\partial t} = -U \frac{\partial C(A)}{\partial l} + r5 - r6 + r1 - r2 + r7 - r8 + r10 - r11 + r12 - r13 + r14 - r15 + r16 - r17 - r18 \\ \frac{\partial C(C8)}{\partial t} = -U \frac{\partial C(C8)}{\partial l} - r10 + r11 - r19 \\ \frac{\partial C(C9)}{\partial t} = -U \frac{\partial C(C9)}{\partial l} - r12 + r13 - r20 \\ \frac{\partial C(C10)}{\partial t} = -U \frac{\partial C(C10)}{\partial l} - r14 + r15 - r21 \\ \frac{\partial C(C4)}{\partial t} = -U \frac{\partial C(C4)}{\partial l} + r9 + r19 + r21 \\ \frac{\partial C(C3)}{\partial t} = -U \frac{\partial C(C3)}{\partial l} + r19 + r20 + r21 \\ \frac{\partial C(C2)}{\partial t} = -U \frac{\partial C(C2)}{\partial l} + r21 \end{array} \right.$$

Рисунок 3 - Система уравнений материального баланса

В статье [25] Петров П.А. говорит об универсальности математической модели риформинга в каскаде из трех реакторов с промежуточным подогревом смеси. Универсальность заключается в том, что позволяет рассчитать процессы в реакторах с радиальным и осевым вводом реагентов. Модель реактора

идеального вытеснения включает расчет гидравлического сопротивления внутренних устройств реактора при условии равномерного распределения реакционной смеси по радиусу и высоте аппарата. Гидравлические потери вычисляются параллельно с решением уравнений, которые позволяют определять свойства потока с учетом изменения температуры из-за эндотермичности процесса и динамику состава, а также учитывающих переменную линейную скорость смеси вследствие изменения площади поперечного сечения слоя катализатора в аппарате в направлении потока. В ходе решения уравнений модели были выведены результаты. Результаты моделирования показывают, что перепад давлений по слою катализатора при радиальном вводе реагентов очень мал по сравнению с перепадом давлений при осевом потоке. Это является главным преимуществом реакторов с радиальным вводом перед реакторами с осевым вводом с точки зрения селективности процесса и энергозатрат.

С использованием компьютерной моделирующей программы «Активность», авторы провели мониторинг работы двух установок риформинга Л-35-6/300 и Л-35-8/300 Новокуйбошевского НПЗ. Основу данной компьютерной программы составляет нестационарная кинетическая модель:

$$\begin{cases} \frac{\partial c_i}{\partial z} G + G \frac{\partial c_i}{\partial V} = \sum_{j=1}^m W_j \\ \frac{\partial T}{\partial z} G + G \frac{\partial T}{\partial V} = -\frac{1}{C_p^{cm}} \sum_{j=1}^m Q_j \end{cases},$$

а изменение активности катализатора происходит в результате одновременно протекающих процессов старения, отравления и коксообразования на поверхности Pt-контакта:

$$\frac{da}{dG} = -k_D(a - a_0),$$

где  $G$  – объем переработанного сырья,  $a_0$  – стационарная (оптимальная) активность катализатора, соответствующая условию равновесия реакций коксообразования и гидрирования промежуточных продуктов уплотнения; величина  $k_D$  может быть оценена исходя из условий эксперимента, а также по

изменению энергетических и энтальпийных характеристик катализаторов риформинга в процессе их дезактивации. Авторы в данной статье [26] сделали следующие выводы, что активность определяется технологическими условиями и составом сырья. Также, что контроль текущей активности катализатора позволяет вовремя выявить и устранить причины ее изменения, но и принять соответствующие меры.

Таким образом, применение метода математического моделирования на НПЗ позволяет повысить качество целевого продукта, снизить затраты на производство, также увеличить выход водорода и октанового числа, т. е. увеличить производительность завода.

## **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В данной работе целевым рынком и сегментированием являются:

- Целевой рынок: предприятия нефтеперерабатывающей промышленности.
- Сегментирование: вторичная переработка углеводородного сырья.

#### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

Данная дипломная работа посвящена исследованию установки процесса каталитического риформинга с неподвижным слоем катализатора.

В настоящее время каталитический риформинг занимает ведущее место в получении высокооктановых компонентов автомобильных бензинов, а также индивидуальных моноциклических ароматических углеводородов.

Из наиболее влияющих предприятий-конкурентов в области производства бензинов: ПАО «Газпром нефть» и ОАО «Сургутнефтегаз».

В таблице 13 приведена оценочная карта:

Бф – продукт проведенной исследовательской работы;

Бк1 – ПАО «Газпром нефть»;

Бк2 – ОАО «Сургутнефтегаз».

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 13 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{k1}$	$B_{k2}$	$K_{\phi}$	$K_{k1}$	$K_{k2}$
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,17	5	3	3	0,9	0,54	0,54
3. Энергозатраты	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
4. Надежность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
5. Безопасность	0,03	5	3	3	0,15	0,09	0,09
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
7. Простота эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3. Цена	0,07	5	4	4	0,4	0,28	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5. Послепродажное	0,07	5	5	2	0,35	0,35	0,14

обслуживание							
6. Финансирование научной разработки	0,02	4	5	5	0,08	0,1	0,1
7. Срок выхода на рынок	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
8. Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	4	0,24	0,3	0,24
Итого	1				5,05	4,1	3,66

### 4.1.3 SWOT-анализ

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

1. **Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован.
2. **Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.
3. **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей

среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

**4. Угроза** представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

Таблица 14 – Итоговая матрица SWOT-анализа для проекта

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>C1. Высокое качество продукции.</p> <p>C2. Ведущий процесс нефтепереработки.</p> <p>C3. Доступность сырья.</p> <p>C4. Относительно низкая себестоимость получаемого риформата.</p> <p>C5. Квалифицированный персонал.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Низкий уровень заработной платы для молодых специалистов.</p> <p>Сл2. Устаревшее оборудование.</p> <p>Сл3. Отсутствие стимулов для внедрения современных технологий.</p> <p>Сл4. Высокая степень износа оборудования.</p> <p>Сл5. Высокая цена на выпускаемую продукцию.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>B1. Совершенствование процесса и оборудования для нее.</p> <p>B2. Разработка новых высокопрочных и устойчивых</p>	<p>Внедрение новых инновационных разработок позволит увеличить эффективность получения продукта, причем если цена на разработку будет низкая.</p>	<p>1. Увеличение объемов переработки нефти позволит повысить качество нефтепродуктов.</p> <p>2. Внедрение технологий.</p> <p>3. Модернизация</p>

<p>к отравлению катализаторов.</p> <p>В3. Переход нефтехимической отрасли на ресурсосберегающие технологии.</p> <p>В4. Появление дополнительного спроса на продукты.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>		<p>оборудования.</p> <p>4. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.</p> <p>5.Повышение квалификации кадров у потребителей.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Увеличение уровня налогов.</p> <p>У2. Повышение требований к качеству продукции.</p> <p>У3. Несвоевременные поставки сырья и оборудования.</p> <p>У4.Наступление техногенной аварии.</p> <p>У5.Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p> <p>У6. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p>	<p>1.Применение оптимальной налоговой политики.</p> <p>2.Внедрение менеджмента качества.</p> <p>3.Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.</p> <p>4.Сертификация и стандартизация продукта.</p> <p>5. Продвижение программы с целью создания спроса</p>	<p>1.Повышения цен на выпускаемую продукцию.</p> <p>2.Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.</p> <p>3. Своевременное обновление оборудования по современным технологиям устраняет риск наступления техногенной аварии.</p> <p>4.Сертификация и стандартизация продукта</p> <p>5.Повышение квалификации кадров у потребителей.</p>

На основе SWOT-анализа были показаны проблемы, которые стоят перед исследовательским проектом. Для научно-исследовательского проекта рассмотрели сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы.



## 4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

*Морфологический подход* основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Таблица 15 – Морфологическая таблица для анализа

	1	2	3	4
<b>А. Способ представления информации</b>	Текст	Графики, таблицы	Рисунки	Видео
<b>Б. Способы получения информации</b>	Интернет и руководитель	Энциклопедии и книги	Получение информации с производства	Комбинированный метод
<b>В. Содержание анализа</b>	Анализ методов и средств	Анализ существующих методов	Анализ существующих средств	Рассмотрение других анализов

## 4.3 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 16.

Таблица 16 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

<b>Основные этапы</b>	<b>№ раб</b>	<b>Содержание работ</b>	<b>Должность Исполнителя</b>
<b>Разработка технического задания</b>	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
<b>Выбор направления исследований</b>	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Выбор направления исследований	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
<b>Теоретические и экспериментальные исследования</b>	5	Проведение расчетов	Бакалавр
	6	Обработка данных	Бакалавр
	7	Анализ степени влияния технологических параметров	Бакалавр
<b>Обобщение и оценка результатов</b>	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр
	9	Определение целесообразности проведения процесса	Руководитель, бакалавр
<b>Оформление ВКР</b>	10	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр, руководитель
	11	Защита дипломной работы	Бакалавр

#### 4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к.

зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

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

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

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

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

### 4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

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

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{364}{364 - 118} = 1.48, \quad (6)$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 17.

Таблица 17 - 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		$t_{ожгi}$ , чел-дни					
	Рук-ль	Бак-вр	Рук-ль	Бак-вр	Рук-ль	Бак-вр	Рук-ль	Бак-вр	Рук-ль	Бак-вр
Составление и утверждение технического задания	1	-	5	-	2,6	-	2,6	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	10	20	20	40	20	42	7	14	10	21
Выбор направления исследования	3	4	4	6	3,4	4,8	1,7	2,4	3	3
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	1,4	1,8	0,7	0,7	1	1
Проведение расчетов	14	20	30	30	14,4	20,4	7,2	10,2	16	20
Обработка данных	10	10	20	20	16	16	8	8	20	25
Анализ степени влияния технологических	5	5	10	20	7	14	3,5	3,5	5	10

<b>параметров</b>										
<b>Оценка эффективност и полученных результатов</b>	1	-	3	-	1,4	-	0,7	-	1	-
<b>Определение целесообразно сти проведения процесса</b>	2	5	5	9	3,2	6,6	1,6	3,3	2	5
<b>Подготовка к защите дипломной работы</b>	1	5	2	10	1,4	7	0,7	7	1	10
<b>Защита дипломной работы</b>	-	1	-	1	-	1	-	0,5	-	1

На основе табл. 23 строится календарный план-график.

Таблица 18 - Календарный план-график проведения НИОКР

№	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февр.			март			Апрель			май			июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, бакалавр	10 21	■	■	■											
3	Выбор направления	Руководитель, бакалавр	3			■	■										

	<b>исследования</b>																		
<b>4</b>	<b>Календарное планирование работ по теме</b>	Руководитель, бакалавр	1																
<b>5</b>	<b>Проведение расчетов</b>	Руководитель, бакалавр	16 20																
<b>6</b>	<b>Обработка данных</b>	Руководитель, бакалавр	20 25																
<b>7</b>	<b>Анализ степени влияния технологических параметров</b>	Руководитель, бакалавр	5 10																
<b>8</b>	<b>Оценка эффективности и полученных результатов</b>	Руководитель	1																
<b>9</b>	<b>Определение целесообразности проведения процесса</b>	Руководитель, бакалавр	2 5																
<b>10</b>	<b>Подготовка к защите дипломной работы</b>	Руководитель, бакалавр	1 10																
<b>11</b>	<b>Защита дипломной работы</b>	Бакалавр	1																

 - руководитель     
 - бакалавр

## 4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

### 4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная часть 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.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (7)$$

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 19.

Таблица 19 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Z <sub>м</sub> ), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Сырье	М <sup>3</sup>	139	139	139	81	81	81	11259	11259	11259
Катализатор	М <sup>3</sup>	33	33	33	65	65	65	2145	2145	2145



<b>Итого</b>	<b>13404</b>	<b>13404</b>	<b>13404</b>
--------------	--------------	--------------	--------------

#### 4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данном разделе все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в табл. 20.

Таблица 20 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1.	Ректификационная колонна	6	7400	44400
2.	Реактор	4	15000	60000
3.	Печь	3	3000	9000
4.	Теплообменник	6	5000	30000
5.	Сепаратор	3	8500	25500
6.	Холодильник	5	5000	25000
7.	Насос	6	1000	6000
<b>Итого:</b>				199900

#### 4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В эту часть включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 25.

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от **предприятия** (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (9)$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (10)$$

Таблица 21 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
<b>Календарное число дней</b>	250	250
<b>Количество нерабочих дней</b>		
- выходные дни	50	50
- праздничные дни	14	14
<b>Потери рабочего времени</b>		
- отпуск	-	-
- невыходы по болезни		
<b>Действительный годовой фонд рабочего времени</b>	186	186

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (11)$$

Все рассчитанные значения основной заработной платы сведены в таблицу

22.

Таблица 22 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов			Трудоемкость, чел.-дн.		Средняя заработная плата, руб.		Основная заработная плата, руб.	
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Рук- ль	Бак- вр	Рук- ль	Бак- вр	Рук- ль	Бак- вр
1	Составление и утверждение технического задания			2,6	-	555,53	-	1495,73	-
2	Подбор и изучение материалов по теме			7	14	1298,75	-	3692,30	-
3	Выбор направления исследования			1,7	2,4	287,67	-	734,86	-
4	Календарное планирование работ по теме			0,7	0,7	132,54	-	368,96	-
5	Проведение расчетов			7,2	10,2	1346,84	-	6858,94	-
6	Обработка данных			8	8	1489,36	-	16565,67	-
7	Анализ степени влияния технологических параметров			3,5	3,5	554,47	-	1933,67	-
8	Оценка эффективности полученных- результатов			0,7	-	132,54	-	368,96	-
9	Определение			1,6	3,3	268,39	-		

	целесообразности проведения процесса					719,25	-
10	Подготовка к защите дипломной работы	0,7	7	132,54	-	368,96	-
11	Защита дипломной работы	-	0,5	-	-	-	-
<b>Итого:</b>						33107,3	-

Таблица 23 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{р}$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	12067	0,3	0,3	1,3	25099,40	1684	49	82516
Студент	-				-	-	-	
<b>Итого <math>Z_{осн}</math></b>								82516

#### 4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (12)$$

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

Таблица 24 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	Зосн, руб	Здоп, руб.	Ззп, руб.
Руководитель	82516	9901,9	92417,9

#### 4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) , \quad (13)$$

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

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %, учитывая вредность [33].

Таблица 25 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
	Исп.1	Исп.1
Руководитель проекта	82516	9901,9
Студент-дипломник	-	-
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
<b>Итого</b>		
<b>Исполнение 1</b>	<b>27725,37</b>	

#### 4.4.6 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

#### 4.4.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (14)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (199900 + 82516 + 9901,9 + 27725,37 + 13404) \cdot 0,16 = 53352 \text{ руб.}$$

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по приведен в табл. 26.

Таблица 26 - Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
<b>1. Материальные затраты НТИ</b>	13404	13404	13404
<b>2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ</b>	199900	199900	199900
<b>3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы</b>	82516	82516	82516
<b>4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы</b>	9901,9	9901,9	9901,9
<b>5. Отчисления во внебюджетные</b>			

фонды	27725,37	27725,37	27725,37
6. Затраты на научные и производственные командировки	-	-	-
7. Накладные расходы	53352	53352	53352
8. Бюджет затрат НИИ	386799,27	386799,27	386799,27

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (15)$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (16)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 27 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	3	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,2	4	5	4,5
3. Воспроизводимость	0,1	4	5	4,5
4. Энергосбережение	0,2	3	5	4
5. Надежность	0,2	4	4	5
6. Материалоемкость	0,1	5	4	4
<b>ИТОГО</b>	1	3,7	4,7	4,35

***Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения***

***разработки*** ( $I_{исп.i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \text{ и т.д.} \quad (17)$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (18)$$



Таблица 28 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,84	1	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,7	4,7	4,35
3	Интегральный показатель эффективности	4,4	4,7	4,39
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,94	1	0,93

**Вывод:**

Из таблицы 28 можно видеть, что лучшим исполнением научно-исследовательского проекта является исполнение 2, так как в данном исполнении лучшее обеспечение материалами и оборудованием, следовательно, достигается наибольшая эффективность проделанной работы.

## Список использованных источников

1. Кузьмина Р.И., Севостьянов В.П., Сидоров Г.М., Корякин В.А. Каталитический риформинг углеводородов / Под ред. Проф. Р.И. Кузьминой. – Саратов: Изд-во СЮИ МВД России, 2010. – 252 с.
2. Риформинг как способ получения бензина с улучшенными характеристиками [Электронный ресурс]. - Режим доступа [www. URL: http://www.km.ru/referats/662F8D7628D24A5B84DD80AE9A6EAC04](http://www.km.ru/referats/662F8D7628D24A5B84DD80AE9A6EAC04)
3. Смидович, Е.В. Технология переработки нефти и газа / Е.В. Смидович. – М.: Химия, 1966. – Ч. 2. – 386 с.
4. Технологические расчеты и теория каталитического риформинга бензина: учеб. пособие/ Кондрашева Н.К., Кондрашев Д.О., Абдульминев К.Г.; под ред. Н.К. Кондрашевой. – Уфа: ООО «Монография», 2008.- 160 с.
5. Платино-рениевый катализатор [Электронный ресурс]. - Режим доступа [www. URL: http://www.ngpedia.ru/id78514p1.html](http://www.ngpedia.ru/id78514p1.html)
6. Катализаторы риформинга [Электронный ресурс]. - Режим доступа [www. URL: http://nefthim.ru/razrabotki/riforming-v-statsionarnom-sloe/](http://nefthim.ru/razrabotki/riforming-v-statsionarnom-sloe/)
7. Основные факторы процесса риформинга [Электронный ресурс]. - Режим доступа [www. URL: http://studopedia.ru/15\\_99339\\_osnovnie-faktori-protsessa-riforminga.html](http://studopedia.ru/15_99339_osnovnie-faktori-protsessa-riforminga.html)
8. Магарил, Р.З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти / Р.З. Магарил. – М.: Химия, 1976. -311 с.
9. Ахметов, С.А. Физико-химическая технология глубокой переработки нефти и газа / С.А. Ахметов. – Уфа. Изд-во УГНТУ, 1996. – Ч.2. – 279 с.
10. Каталитический риформинг [Электронный ресурс]. - Режим доступа [www. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9)

\_%D1%80%D0%B8%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B3

11. Мирошникова Д.А., Леденёв С.М. Совершенствование процесса каталитического риформинга бензиновой фракции. Волгоград: успехи современного естествознания, №1, 2010.
12. Реутова О.А., Шиховцова Е.А. Изучение текстурных характеристик катализатора R-56. Вестник Омского университета, 2003.№2.
13. Катализаторы риформинга [Электронный ресурс]. - Режим доступа [www.URL: http://kataliz.ru/product.files/riform.htm](http://kataliz.ru/product.files/riform.htm)
14. Стыценко В.Д. Полиметаллические катализаторы, модифицированные в поверхностном нанослое. Труды Российского Государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина – 2009. -№2.
15. Мартынов В.Л., Луцкий Д.С., Безматерных А. Применение полиметаллических модифицированных катализаторов в процессе каталитического риформинга. Современная техника и технологии, №5, 2015.
16. Гайдамака С.Н., Тимофеев В.В., Леменовский Д.А., Кардашев С.В., Паренаго О.О., Баграташвили В.Н., Сергиенко С.А., Брусова Г.П., Лунин В.В. О возможности сверхкритической флюидной регенерации промышленного катализатора риформинга Pt-Re/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в смесях O<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>. Катализ в промышленности, № 3, 2013.
17. ТУ 2177-018-44912618-2006 Катализаторы риформинга полиметаллические Ru-125 и Ru-130. 2006. 29 с.
18. Яковлев А.А., Ахметов А.Ф., Павлова И.Н. Модернизация процесса каталитического риформинга с целью повышения выхода ароматических углеводородов. Нефтегазовое дело, 2006.
19. Моисеев В.М., Сидоров И.Е., Марышев В.Б., Можайко В.Н., Гурдин В.И., Гутер В.В. Риформинг на новых катализаторах РБ-33У и РБ-44У. Химия и технология топлив и масел – 2008. -№2. – С.31-32.

20. Попов И.В., Зотов Ю.Л. Вариант совершенствования процесса каталитического риформинга бензиновой фракции. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований – 2012. - №1.
21. Горбачев В.М., Иванков О.Н., Анищенко О.В. Возможности современных установок каталитического риформинга. Современные наукоемкие технологии – 2014. -№2.
22. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Юрьев Е.М., Бесков В.С, Костенко А.В. Математическое моделирование каталитических процессов переработки углеводородного сырья. Катализ в промышленности, № 6, 2008.
23. Круценко А. А., Борисов А. А., Соловьев В. А. Моделирование режимов работы блока стабилизации установки каталитического риформинга. Вестник ТОГУ. № 4(27). 2012.
24. Шура И.А., Сотников В.В., Сибаров Д.А. Математическая модель для управления процессом каталитического риформинга. Известия ОрелГТУ. Серия «Информационные системы и технологии»,-2008.-№1-3/269(544).
25. Петров П.А. Моделирование процесса каталитического риформинга. Фундаментальные исследования. Российская Академия Естествознания №12, 2007.
26. Шарова Е.С., Чеканцеv Н.В., Выходцев А.В., Иванчина Э.Д. Мониторинг промышленной эксплуатации катализаторов риформинга на установках Л-35-6/300 и Л-35-8/300 НК НПЗ с использованием кинетической модели. Институт катализа им. Г. К. Борескова. 2008.
27. Омский нефтеперерабатывающий завод [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://www.studfiles.ru/preview/5185506/>
28. Моделирование промышленных нефтехимических процессов с использованием объектно-ориентированного языка Delphi // Известия Томского политехнического университета / Долганов И.М., Францина Е.В., Афанасьева Ю.И., Иванчина Э.Д., Кравцов А.В. – 2010. – Т. 317. – № 5. – С. 57–61.

29. Повышение технико-экономической эффективности каталитического риформинга с использованием компьютерной моделирующей системы / Э. Д. Иванчина, В. В. Дериглазов, И. К. Занин //Известия Томского политехнического университета/ Томский политехнический университет (ТПУ). — 2011. —Т. 319, № 3: Химия. — [С. 105-109].
30. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Интеллектуальные системы в химической технологии и инженерном образовании. – Новосибирск: Наука, 1996. – 180 с.
31. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Компьютерное прогнозирование и оптимизация производства бензинов. Физико-химические и технологические основы. – Томск: СТТ, 2000. – 192 стр.
32. Мониторинг [Электронный ресурс]. - Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3>
33. Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования».
34. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
35. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
36. ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
37. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
38. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
39. СанПиН 2.2.4.3359-16. Шум. Вибрация. Инфразвук. Ультразвук
40. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

41. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
42. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.
43. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
44. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
45. ПБ 03-576-2003. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.
46. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
47. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
48. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.
49. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
50. ГОСТ 12.2.033-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
51. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.